

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



Bakalářská práce

Komunitní vermikompostování biologicky rozložitelného komunálního odpadu

Community vermicomposting of biodegradable municipal waste

Zpracovala: Kateřina Klubalová

Školitel: RNDr. Petra Innemanová, Ph.D.

Květen 2016

Poděkování

Ráda bych poděkovala především RNDr. Petře Innemanové, Ph.D., za vedení mé práce, za její velmi vstřícný přístup a udílení mnoha užitečných rad a doporučení. Poděkovat bych chtěla také společnostem Ekodomov, z.s. v Praze 6 a KOKOZA o. p. s. v Praze 4, které mi poskytly vzorky worm tea pro můj experiment.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechnu použitou literaturu a informační zdroje. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného akademického titulu. Předložená tištěná verze je totožná s elektronickou verzí.

V Praze dne 19. 5 2016

Podpis:

Abstrakt

Metoda vermikompostování prochází v poslední době velkým rozmachem. Lidé žijící v bytech mohou sami zpracovávat bioodpad, který vyprodukovali. Kromě toho, že tak nepatrně snižují podíl komunálního biologicky rozložitelného bioodpadu obsaženého ve směsném komunálním odpadu, který se v současné době většinou skládkuje, mají z toho ještě užitek ve formě kvalitního vermikompostu a výluhu nazývaného worm tea, tj. žížalího čaje.

V této práci jsou shrnuty doposud získané poznatky o metodě vermikompostování se zaměřením na kuchyňský odpad. Práce přinese poznatky o tom, za jakých podmínek vermikompostování probíhá, jaké je složení a možnost použití výsledných produktů, jaké bioodpady je vlastně možné vermikompostovat a jaké druhy žížal se využívají. Z hlediska hypotézy použití worm tea v hydroponickém pěstování rostlin je probrána teoretická stránka věci. V experimentální části byla testována toxicita různých koncentrací worm tea na semenech hořčice bílé (*Sinapis Alba*). Použita byla koncentrační řada 2,5; 5,0; 7,5; a 10,0 vol. % čtyř vzorků worm tea, vzniklých z různých bioodpadů a jako kontrolní médium byla použita destilovaná voda. Výsledkem byly vypočítané inhibice pro jednotlivé koncentrace worm tea. V dostupné literatuře je uváděno doporučené ředění worm tea při použití jako postřiku na rostliny 1 : 9 s vodou. Výsledek však ukázal, že toto ředění bylo u některých vzorků již inhibiční. Koncentrace 2,5 vol. % byla u všech vzorků stimulační, ostatní koncentrace se u všech vzorků z hlediska inhibice lišily. Při správném ředění má tedy worm tea stimulační účinky, což je první předpoklad pro využití worm tea v hydroponickém pěstování. Aby se přišlo na optimální hodnotu ředění, je potřeba provést rozsáhlejší testy s více vzorky a zjišťovat složení materiálu, ze kterého byl vermikompost připraven. Z hlediska použití worm tea v hydroponiích je také třeba provést rozbor těchto roztoků, co se jejich složení týče. Práce je doplněna o výsledky krátkého dotazníku, jehož hlavním cílem bylo zjistit, jaký je postoj lidí k vermikompostování.

Klíčová slova

Vermikompost, biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO), hydroponie

Abstract

The method of vermicomposting experiences a big boom nowadays. The people living in flats can process bio-waste, which they produce on their own. Therefore, the amount of biodegradable municipal waste contained in the dumped mixed municipal waste slightly reduces. In addition, people can benefit from high-quality products called vermicompost and its leachate called worm tea.

In this work I summarize acquired knowledge about the vermicomposting focusing on kitchen waste, about conditions, which this method demands, about composition and the possibility of using the end products. Also, it is discussed which bio-waste is suitable for vermicomposting and what earthworm species can be used. The theoretical side of using worm tea in the hydroponic cultivation of plants is discussed. The toxicity of different concentrations of worm tea on a seeds of *Sinapis Alba* was tested in the experimental part. The concentration row 2,5; 5,0; 7,5; and 10,0 vol. % of four different samples of worm tea from different bio-waste was used. Distilled water was used as a control solution. The values of inhibition for each concentration of worm tea were calculated. Available literature recommends to dilute worm tea in ratio of 1:9 with water. However, the results showed that this dilution is already inhibitory for some samples. The concentration of 2.5 vol.% was stimulatory for all samples, while for the other concentrations the effects in terms of inhibition varied for all samples. The proper diluted worm tea have stimulating effect, which is the first prerequisite for using worm tea in hydroponics cultivation. To find out the optimal value of dilution, it is necessary to test more samples and to inquire bio-waste from which the worm tea was prepared. From the point of view of use of worm tea in hydroponics system it is also necessary to make an analysis of these worm tea solutions, in terms of composition. The work is complemented by the results of a short questionnaire, whose main aim was to find out what the attitude of people towards vermicomposting is.

Key words:

Vermicompost, biodegradable municipal waste (BMW), hydroponics.

Obsah

1. Úvod	1
2. Vermikompostování biologicky rozložitelného komunálního odpadu	2
2.1 Biologicky rozložitelný komunální odpad	2
2.1.1 Legislativa	5
2.2 Podstata verмикompostování	6
2.3 Podmínky verмикompostování.....	6
2.4 Vermikompostování bioodpadu z domácností	9
2.5 Složení verмикompostu a jeho využití	10
2.6 Worm tea a jeho využití	13
2.7 Srovnání klasického kompostování a verмикompostování	14
2.7.1 Parametry kompostování a verмикompostování	14
2.8 Systémy verмикompostování	16
2.8.1 Malé verмикompostéry.....	17
2.8.2 Další technologické systémy	18
2.9 Používané druhy žížal	19
2.9.1 Symbióza žížal s mikroorganismy.....	20
2.10 Výhody a nevýhody verмикompostování.....	21
3. Hydroponické pěstování rostlin.....	22
3.1 Obecný úvod	22
3.2 Složení živného roztoku	23
3.3 Hypotéza použití worm tea při hydroponickém pěstování rostlin.....	24
4. Experimentální část	26
4.1 Materiál a metody.....	26
4.1.1 Testovací organismus	26
4.1.2 Materiál a pomůcky	26
4.1.3 Testované látky.....	26
4.1.4 Princip testu.....	27
4.1.5 Podmínky a průběh testu	27
4.1.6 Cíl experimentu	28
4.2 Pracovní postup	28
4.3 Výsledky.....	28
5. Metodika do diplomové práce	32
6. Průzkum	33
6.1 Úvod	33
6.2 Metodika.....	33

6.3 Výsledky získané dotazováním	33
6.4 Diskuze	36
7. Závěr	37
Seznam použité literatury	38
Přílohy	43
Příloha č. 1	43
Příloha č. 2	43
Příloha č. 3	44
Příloha č. 4	45

1. Úvod

Nařízení vlády o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 – 2024 říká, že biologicky rozložitelný podíl komunálního odpadu ukládaný na skládky musí být omezen do roku 2020 na 35 % celkového množství biologicky rozložitelného komunálního odpadu (dále jen BRKO). BRKO totiž tvoří až 40 % směsného komunálního odpadu, který je ukládán na skládky. Je tedy třeba praktikovat jiné možnosti, jak nakládat s těmito odpady.

Cílem této práce je poukázat na jednu z možností, jak se bioodpadu zbavovat přímo u zdroje, tedy v domácnostech, a to na možnost komunitního vermikompostování pomocí malých domácích vermikompostérů. Práce shrnuje základní informace o této metodě a snaží se ukázat všechny výhody i nevýhody, které vermikompostování přináší. Nejenže lidé zpracují bioodpad přímo doma, nemusí ho nikam odnášet a sníží se tak i množství tohoto odpadu v odpadu směsném, ale navíc z něj mají prospěch ve formě kvalitního vermikompostu a výluhu, worm tea. Jelikož cílem práce bylo ukázat atraktivní stránky této metody, byla nastíněna myšlenka využití worm tea v hydroponickém pěstování. Tou se dosud zabývá jen pár dostupných studií a otevírá se tak prostor pro další bádání. V experimentální části byla testována toxicita různých koncentrací worm tea na semenech hořčice bílé (*Sinapis Alba*). Předběžné výsledky nevyloučily možnost využití worm tea pro hydroponické pěstování rostlin. Bylo zjištěno optimální ředění roztoku tak, aby neměl inhibiční účinky na rostliny při jeho použití. Na základně literární rešerše byly navrženy další parametry, které by mohly být sledovány v rámci navazující diplomové práce. Jako doplnění stávající práce byl proveden malý průzkum pomocí dotazníků, na základě kterého bylo zjišťováno, jaké je povědomí lidí o metodě vermikompostování, popřípadě, zdali by ho chtěli provozovat. Lidé žijící v panelových domech nemají na rozdíl od lidí z rodinných domů jinou možnost nakládání s bioodpadem, než ho dávat do hnědých kontejnerů nebo sběrných dvorů, z čehož pro ně neplyne žádný prospěch. Existují samozřejmě i komunitní kompostárny, kde lidé mohou získat hotový kompost. Ty ale bývají dál od bydliště, a tak lidé volí raději kontejnery, které navíc často nejsou dostupné. Proto je dle mého názoru vermikompostování ideální možností, jak se bioodpadu zbavit a ještě získat něco navíc.

2. Vermikompostování biologicky rozložitelného komunálního odpadu

2.1 Biologicky rozložitelný komunální odpad

Biologicky rozložitelným odpadem se dle Zákona o odpadech č. 185/2001 Sb. rozumí jakýkoli odpad, který podléhá aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu. Do této skupiny patří odpady ze zemědělství, lesnictví, potravinářství a dále odpady z papírenského a textilního průmyslu, odpady ze zpracování dřeva a kůží a dalších výrob [Altmann, 2010]. Do skupiny biologicky rozložitelných odpadů patří i biologicky rozložitelné komunální odpady, tzv. BRKO. Tato skupina tvoří v odpadovém hospodářství objemově i hmotnostně nejvýznamnější skupinu směsných komunálních odpadů, která v závislosti na oblasti tvoří kolem 40 % směsného komunálního odpadu. Mezi odpady tvořící biologicky rozložitelný komunální odpad patří odpady z domácností (zbytky potravin), odpady z údržby městské zeleně nebo zahrádek (posečená tráva, listí, dřevní hmota) a odpady z tržišť (ovoce, zelenina). S biologicky rozložitelným komunálním odpadem se dá nakládat dvěma způsoby:

1. Jako s materiálem (surovinou), který lze zpracovávat na zahradách domů nebo v zahrádkářských koloniích metodou domácího, popřípadě komunitního kompostování. Tento odpad není nikde vykazován, vlastník nemá v úmyslu se jej zbavit, a tedy opad jako by neexistoval. Jde svým způsobem o předcházení vzniku skutečného odpadu.
2. Jako s odpadem, a to tím způsobem, že odpad je odkládán na vyhrazené místo. K tomuto účelu slouží kontejnery, sběrné nádoby nebo sběrné dvory, které musejí obce povinně zajišťovat od roku 2015. Jde o separovaný sběr BRKO, který lze realizovat jako systém odvozový nebo donáškový [Altmann, 2010].

Seznam odpadů řadících se mezi biologicky rozložitelné komunální odpady spolu s koeficientem biologického rozkladu je uveden v tabulce č. 1. Na hodnotách uvedených koeficientů biologického rozkladu je vidět, že některé druhy odpadů řadící se mezi BRKO mají jen určitý podíl biologicky rozložitelné složky.

Tabulka č. 1: Odpady tvořící biologicky rozložitelný komunální odpad [Kotoulová, 2004]

Kód odpadu dle vyhlášky č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví katalog odpadů	Druh odpadu	Koeficient biologického rozkladu
20 01 01	Papír a lepenka	1
20 01 08	Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven	1
20 01 10	Oděvy	0,60
20 01 11	Textilní materiály	0,50
20 01 38	Dřevo neuvedené pod číslem 20 01 37	1
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad	1
20 03 01	Směsný komunální odpad	0,54
20 03 02	Odpad z tržišť	0,80
20 03 07	Objemný odpad	0,50

Experiment provedený na Katedře využití strojů Technické fakulty ČZU Praha ukázal procentuální zastoupení jednotlivých složek biologicky rozložitelného komunálního odpadu vyprodukovaného běžnou domácností. V závislosti na typu zástavby vyprodukuje jeden obyvatel 12 – 28 kg BRKO za rok [Vrbová et al, 2003]. Jak ukazuje tabulka č. 2, nejvíce se vyprodukuje odpadu ze zeleniny a ovoce, jejichž zastoupení činí 35,7 %.

Tabulka č. 2: Procentuální zastoupení jednotlivých komodit BRKO v domácnostech [web 1]

Pořadí komodity podle hmotnosti	Komodity BRKO	Zastoupení [%]
1	odpad ze zeleniny	35,7
2	odpad z ovoce	18,3
3	odpad z květin	9,4
4	čaj, káva	8,8
5	odpad z citrusů	8,2
6	zbytky vařených jídel	6,7
7	Pečivo	3,9
8	skořápky z ořechů	3,4
9	Papír	3,0
10	vaječné skořápky	1,5
11	Ostatní	1,1

Biologicky rozložitelný komunální odpad obsažený ve směsném komunálním odpadu byl dříve hojně ukládán na skládky, což přinášelo škodlivé vlivy na životní prostředí. Sám o sobě je BRKO neškodný, avšak jeho smícháním s ostatními druhy odpadů dochází k nekontrolovatelným reakcím na skládkách. Organický odpad se na skládkách rozkládá anaerobním pochodem za vzniku skládkového plynu, jehož hlavní složkou je metan (CH_4), jeden z hlavních skleníkových plynů [Šeflová, 2010]. Dalším problémem jsou kyselé výluhy, které vznikají na skládkách hydrologickým procesem a které prosakují do půdy. Z těchto důvodů a z nutnosti omezit skládkování obecně vláda nařídila omezení skládkování BRKO. Z grafu č. 1 přiloženého v příloze vyplývá, že do budoucna se předpokládá mírný nárůst produkce BRKO a naopak snižování jeho skládkování. Z důvodu nutnosti snížení ukládání biologicky rozložitelných komunálních odpadů na skládky se tedy nabízí zpracování tohoto odpadu biologickou cestou, například kompostováním. Důraz je kladen především na zpracování bioodpadu cestou kontrolovaného mikrobiálního kompostování, což je jak investičně, tak technologicky nenáročná metoda, které se dá využít ke vzniku regionálních kompostáren. Základem pro praktické využití je zajištění sběru

prostřednictvím velkoobjemových kontejnerů, sběrných dvorů nebo prostřednictvím sběrných nádob na odpad (120 l nebo 140 l). Další možností je komunitní kompostování na úrovni obce. V tomto případě má obec základní technologické a strojní vybavení pro řízené kompostování. Obecní kompostárny zpracovávají rostlinné zbytky z údržby zeleně a zahrad z území obce. Tato zařízení se nezřizují ve smyslu zákona o odpadech, ale zřizuje je sama obec na základě obecně závazné vyhlášky. Produktem komunitního kompostování je výhradně zelený kompost, který může být využit k údržbě a obnově veřejné zeleně obce [web 2]. Modernější metoda zpracování BRKO, která se v dnešní době dostává do popředí, je domácí kompostování pomocí žížal v malých kompostérech, tzv. vermikompostérech. Mým cílem v této práci je poukázat na možnost zpracování biologicky rozložitelného komunálního odpadu, zvláště domovního kuchyňského, metodou komunitního vermikompostování v činžovních domech. Dále je mým cílem vytipovat a rozpracovat analytické metody, které umožní dostatečně charakterizovat vlastnosti produktů vermikompostování. Znalost těchto vlastností je důležitá pro optimální nakládání s vermikompostem v domácnosti, případně v rámci komunity.

2.1.1 Legislativa

Podle Nařízení vlády ze dne 22. prosince 2014 o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 – 2024 musí být biologicky rozložitelný podíl komunálního odpadu ukládaný na skládky omezen do roku 2020 na 35 % celkového množství biologicky rozložitelného komunálního odpadu. Novela Zákona o odpadech č. 229/2014 Sb. §17, odstavec 3, ukládá obci povinnost zajistit místa pro odkládání veškerého komunálního odpadu vyprodukovaného fyzickými nepodnikajícími osobami na jejím katastrálním území. Obec je povinna zajistit místa pro oddělené soustřeďování složek komunálního odpadu, minimálně nebezpečných odpadů, papíru, plastů, skla, kovů a biologicky rozložitelných odpadů. Rozsah a způsob zajištění odděleného soustřeďování biologicky rozložitelných komunálních odpadů upřesnilo Ministerstvo životního prostředí ve vyhlášce č. 321/2014 Sb. o rozsahu a způsobu zajištění odděleného soustřeďování složek komunálních odpadů. Dle této vyhlášky je obec povinna zajistit místa pro oddělené soustřeďování minimálně pro biologické odpady rostlinného původu, a to minimálně v období od 1. dubna do 31. října kalendářního roku. Soustřeďování BRKO může obec provádět prostřednictvím sběrných dvorů, malých zařízení podle §33b zákona, velkoobjemových kontejnerů, pomocí sběrných nádob, pytlovým způsobem sběru nebo kombinací předchozích způsobů. Je na obci, jakou variantu zvolí.

2.2 Podstata vermikompostování

Vermikompostování je biotechnologický proces, ve kterém je organický odpad pomocí žížal přeměňován na vermikompost [Suthar and Singh, 2007]. Oproti klasickému kompostování nezahrnuje termofilní fázi rozkladu. Vermikompostování je v současné době považováno za nejpokročilejší metodu kompostování, která se řadí mezi nízkonákladové systémy zpracování odpadů a která je plně přátelská k životnímu prostředí. Počátky studií vermikompostování se datují do roku 1970, a to převážně v Německu a ve Spojených státech amerických [Hartenstein and Mitchell, 1977 in Edwards, 2011]. V České republice se technologie vermikompostování začala uplatňovat od roku 1985 [Kalina, 1999]. Potupně však zájem u nás i ve světě upadal a velký rozmach nastal opět v roce 2004 [Abbasi and Nayeem-Shah, 2015]. Jak již bylo řečeno, žížaly jsou základní předpoklad, bez kterého by se vermikompostování neobešlo. Zajišťují jednak fyzikální děje, které zahrnují substrátovou aeraci, mixování a promíchávání substrátu a jeho rozmělnění, a jednak biochemické pochody. Biochemickými pochody se rozumí mikrobiální dekompozice substrátu ve střevě žížal [Albanell et al, 1988 in Ali et al, 2015]. Vzniklý vermikompost je velmi bohatý na živiny, obsahuje vysoce kvalitní humus, růstové hormony, enzymy a látky, které jsou schopné chránit rostliny před škůdci a chorobami [Sinha et al, 2010]. Metoda vermikompostování je vhodná k použití jak na zahradách, tak i v domácnostech. Pro optimální průběh vermikompostování musí být dodržovány určité podmínky, které budou podrobněji popsány v kapitole 2.3 Podmínky vermikompostování. Nejčastěji využívané žížaly jsou žížala hnojní (*Eisenia fetida*), kalifornský hybrid u nás známý jako žížala kalifornská (*Eisenia andrei*) nebo žížala obecná (*Lumbricus terrestris*). Kromě samotného vermikompostu je produktem i takzvaný worm tea, což je výluh z vermikompostu, někdy nazývaný jako žížalí čaj [Kalina, 1999].

2.3 Podmínky vermikompostování

Existuje několik základních faktorů, které mají přímý vliv na vermikompostovací proces, růst žížal a produkci kokonů žížal. Tyto faktory se v průběhu vermikompostování musí udržovat v optimálním rozmezí hodnot.

pH

Pro správnou činnost žížalích jedinců je nutné udržovat pH nejlépe v neutrální oblasti. Žížaly však snášejí rozsah pH od 4,5 do 9, což vždy záleží na jejich citlivosti a chemických vlastnostech odpadu [Edwards and Lofty, 1977 in Ali et al, 2015]. Právě fyzikálně-chemické charakteristiky

odpadu nejvíce ovlivňují pH substrátu. Postupnou dekompozicí organického odpadu vznikají meziprodukty jako amoniak nebo humínové kyseliny, jejichž pozitivně nebo negativně nabitě částice pozměňují pH na neutrální nebo kyselé [Pramanik et al, 2007]. Při počátečním stádiu vermikompostování se pH pohybuje v mírně alkalické oblasti v rozmezí 8,3-7,2 a postupně přechází do neutrálních hodnot pH, od 6,3 do 7,1 na konci procesu. Některé experimenty ukázaly konečné snížení pH až na 5,8-6,7 [Yadav and Garg 2011 in Ali et al, 2015]. Konečné kyselé pH je přisuzováno vzniku oxidu uhličitého a akumulaci organických kyselin během vermikompostovacího procesu [Ali et al, 2015 podle Elvira et al, 1998].

Teplota

Dalším významným činitelem je teplota. Existuje mnoho studií, které se zabývají optimální teplotou pro proces vermikompostování. Pro správný metabolismus, aktivitu, růst, dýchání a reprodukci žížal je optimální rozmezí teploty mezi 25-37 °C [Reinecke et al, 1992 in Ali et al, 2015]. Sinha et al (2002) uvádí, že teploty, které jsou žížaly schopné snést, se pohybují v rozmezí od 5 °C do 29 °C. Při vysoké teplotě okolo 30 °C se aktivita jak žížal, tak mikroorganismů zvyšuje a tím dochází ke snižování množství kyslíku v substrátu, což má negativní dopad na žížaly [Dominguez and Edwards, 2004 in Ali et al, 2015]. Každý druh žížal má jiné nároky na teplotní podmínky:

- *Eisenia fetida* (žížala hnojní) má teplotní toleranci na 0-35 °C, přičemž optimální růst je pozorován při 25 °C.
- Pro *Eisenia andrei* (žížala kalifornská) je ideální teplota kolem 20 °C, teploty vyšší než 30 °C pro ni nejsou vhodné [Honzová a Poklembová, 2014].

Vermikompostování je na rozdíl od klasického kompostování velmi ovlivňováno extrémními teplotami. Například vysoká teplota ve vermikompostovacím systému zapříčiní ztrátu dusíku ve formě NH_3 [Tiquia and Tam, 1999].

Vlhkost

Vlhkost je důležitý faktor, který žížaly potřebují k dýchání. Příliš suché prostředí je pro ně stresující a může zapříčinit jejich smrt [časopis Priorita, 2011]. Optimální vlhkost pro žížaly se pohybuje mezi 55-80 % [Havelka, 2014], přičemž maximální vlhkost by neměla překročit 90 %. Při vyšší vlhkosti se do nádoby přestane dostávat kyslík a obsah vermikompostéru začne zapáchat, protože kompostovací proces neprobíhá řádně. Optimální vlhkostní podmínky jsou opět odlišné pro různé druhy žížal:

- pro *Eisenia fetida* je optimální vlhkost 70 % [Reinecke and Venter, 1985 in Ali et al, 2015].

- *Lumbricus terrestris* naopak prosperuje i ve velmi suchých podmínkách [Kaplan et al, 1980 in Ali et al, 2015].
- Pro *Eisenia andrei* je ideální vlhkost okolo 80 %.

Při praktickém provozování vermikompostu se vlhkost může snížit přidáním odpadu s vysokým obsahem uhlíku, jako je například nebarvená papírová lepenka, piliny nebo sláma. Naopak, pokud se zdá vermikompost příliš suchý, kropí se vodou nebo se přidává navlhčený papír.

Hustota osazení žížalami

Populační hustota žížal v kompostovaném materiálu je ovlivněna mnoha faktory jako je počáteční kvalita a množství substrátu, teplota, vlhkost a struktura materiálu [Edwards and Bohlen, 1996]. Ndehwa et al (2000) testoval čtyři různé hustoty osazení žížalami: 0,80; 1,20; 1,60 a 2,00 kg žížal na m². Byl zkoumán především vliv hustoty žížal na produkční stabilitu, biomasu žížal, pH a živiny (především dusík a fosfor). Výsledky ukázaly, že biomasa žížal roste s hustotou osazení, ale zastavuje se při hustotě 2 kg žížal na m². Dominguez et al (1997) provedl studii na *Eisenia andrei* (žížala kalifornská). I v této studii bylo prokázáno, že biomasa žížal roste s hustotou osazení substrátu žížalami. Dominguez a Edwards (2001) vysvětlují tento fenomén dřívější pohlavní zralostí při vyšší hustotě žížalí populace v substrátu. Kopulační frekvence však klesá, když hustota žížal přesáhne nosnou kapacitu substrátu. V tomto případě klesá růst žížal a produkce kokonů, i kdyby byly vhodné fyzikálně-chemické podmínky [Rodriguez-Canche et al, 2010 in Ali et al, 2015]. Z různých studií vyplývá, že pro přeměnu pevného bioodpadu žížalami je ideální hustota osazení 1,60 kg žížal na m² [Ndehwa et al, 2000].

C:N poměr

Poměr zastoupení uhlíku a dusíku v substrátu hraje kritickou roli v buněčné syntéze, růstu a metabolismu žížal. Pro správnou výživu žížal musí být uhlík a dusík ve vhodném poměru [Ndegwa et al, 2000]. Poměr C:N je jedním z nejdůležitějších indikátorů stabilizace vermikompostovaného odpadu, přičemž stabilizace nám ukazuje, že kompost je zralý [Kaushik and Garg, 2003 in Ali et al, 2015]. V jedenácti studiích bylo vermikompostování považováno za skončené při poměru uhlíku a dusíku 20-30:1 [Abbasi et al, 2015]. Poměr závisí na rychlosti rozkladu surovinové zakládky a dosahuje u čerstvě založeného kompostu rozmezí 30-35:1 a ve zralém kompostu 25-30:1. Ndegwa a Thompson (2001) udávají, že optimální poměr C:N je 25:1. Maximální poměr uhlíku a dusíku po skončení vermikompostování se uvádí jako 30:1 [Slejška, 1999]. V důsledku rychlé mineralizace a dekompozice organických látek je uhlík ztracen mikrobiální respirací ve formě oxidu uhličitého. Naopak obsah dusíku se zvyšuje díky produkci hleny a výměšků žížal. Tyto dva souběžné děje vyústí ve snížení poměru C:N. Pro dosažení optimálního poměru se udává

jako vhodná podestýlka navlhčené a natrhané noviny, které mají vysoký obsah uhlíku a dobře tak vyvažují dusík vznikající v bioodpadu [časopis Priorita, 2011] Důležitou roli při obsahu dusíku hraje pH. Při jeho snížení totiž dochází k ukládání a uchování dusíku. Naopak vysoké pH způsobuje ztráty dusíku ve formě těkavého amoniaku [Hartenstein, R. and Hartenstein, F., 1981 in Ali et al, 2015].

Krmení žížal

Krmení žížal hraje důležitou roli nejen při růstu a reprodukci žížal během vermikompostovacího procesu, ale má vliv také na rychlost produkce kokonů. Častost krmení závisí na několika faktorech, jako je vlhkost, velikost částic a obsah organických látek v substrátu [Neuhauser et al, 1980]. Rychlost s jakou žížaly odpad zkonzumují, je dána druhem krmení, přípravou krmiva (natrhání na kousky, rozdrcení) a předčištěním. Udává se, že 0,5 kg žížal zkonzumuje denně zhruba 0,25 kg odpadu, což je objem, který průměrně vyprodukuje čtyřčlenná rodina. Toxické kovy přítomné v organické potravě mohou být pro žížaly smrtelné [Gupta et al, 2005 in Ali et al, 2015]. Měď a kadmium jsou pro žížaly nejvíce toxické, a to v koncentracích 1,5 a 0,1 g/kg odpadu. Žížaly jsou náchylné především k volným formám těžkých kovů [Savage, 2008].

2.4 Vermikompostování bioodpadu z domácností

Domácí vermikompostování bioodpadu vzniklého v domácnostech je jednou z cest, jak se zbavovat biologicky rozložitelných odpadů přímo u zdroje. Výhodou je produkce vermikompostu velmi bohatého na živiny a mikroorganismy, který kladně ovlivňuje životní funkce rostlin, a zároveň vzniká výluh vermikompostu, který stéká na dno domácích vermikompostérů [Kalina, 1999]. Podstata a fungování samotných domácích vermikompostérů bude popsána v kapitole 2.8.1 Malé vermikompostéry.

Ke kompostování s využitím žížal v domácích vermikompostérech se nejvíce hodí žížaly druhu *Eisenia fetida* (žížala hnojní) a *Eisenia andrei* (žížala kalifornská). Optimální teplota pro chov těchto žížal je 18 až 25 °C, což je teplota lehce udržitelná v každé domácnosti. V České republice běžná žížala obecná (*Lumbricus terrestris*) vyžaduje pro svůj život nižší teploty než žížala hnojní a žížala kalifornská, a proto je pro vermikompostování v domácnostech nevhodná [Kalina, 1999].

Jako podestýlka do kompostéru se volí takový materiál, který dostatečně udržuje vlhkost a zachovává si také určitou provzdušněnost. Nejčastěji se používá listí, tráva, rašelina, zemina,

sláma, hobliny nebo roztrhaný a navlhčený papír [Kalina, 1999]. Svou funkci plní výborně také směs natrhaného papíru, kokosových vláken a starého listí. Pokud se vermikompostování provádí s pomocí kalifornského hybridu *Eisenia andrei* (žížala kalifornská), není vhodné používat jako substrát zeminu či rašelinu, neboť žížaly kalifornské nejsou uzpůsobeny k životu v půdě a hrubé částčky půdy jim opotřebovávají zažívací ústrojí, čímž dochází k jejich rychlému úhynu. Při použití *Eisenia fetida* (žížala hnojní) tento problém odpadá, zemina jako substrát je pro ni vhodný [Honzová and Poklembová, 2014].

Krmení žížal probíhá tak, že zbytky z kuchyně dáváme do podestýlky na různá místa tak, aby byly vždy zakryté, jinak by začaly zapáchat a velmi rychle plesnivět, takže by se musely odstranit [Kalina, 1999]. Vhodnou potravou pro žížaly jsou slupky a zbytky z ovoce a zeleniny, vyluhované čajové sáčky, kávová sedlina, zbytky chleba a pečiva, použité papírové ubrousky, natrhaný papír, plata od vajec. V menší míře se dají do kompostéru přidávat nadrcené skořápky od vajec, které dodávají vápník, a zbytky jídla, které ovšem nejsou mastné. Žížalám se nesmí dávat mléčné výrobky, maso, kosti, mastná jídla, oleje a tuky. Tyto produkty při rozkládání páchnou. Doporučuje se nepřidávat ani slupky od citrusů a banánů, které mohou být kontaminovány zbytky pesticidů, kterými se ovoce ošetřuje. Do vermikompostérů by se neměla přidávat podestýlka od domácích mazlíčků (morčata, křečci), jelikož může být kontaminovaná různými patogeny, které by žížalám spíše uškodily [Honzová and Poklembová, 2014]. Velmi důležité je žížaly nepřekrmovat [Kalina, 1999].

2.5 Složení vermikompostu a jeho využití

Vermikompost je konečný produkt procesu vermikompostování. Tento materiál je bohatý na humus, mikronutrienty a půdní mikroorganismy prospěšné pro půdu - dusík fixující bakterie, fosfát rozpouštějící bakterie a aktinomycety. Humus napomáhá formovat půdní částice do tzv. klastrů, které pak vytváří kanálky a póry pro průchod vzduchu a zvětšují kapacitu půdy pro zadrž vody [Ghabbour, 1973 in Adhikary, 2012]. Vermikompost obsahuje také růstové hormony – auxiny, gibereliny a cytokininy [Suhane, 2007 in Adhikary, 2012]. Auxiny podporují prodlužování buněk, gibereliny stimulují mitózu, růst internodií a listů a cytokininy podporují dělení rostlinných buněk. Významnou složkou jsou humínové kyseliny přítomné v humusu, které poskytují vazebná místa pro některé prvky důležité pro rostlinu, jako je vápník, železo, draslík, síra nebo fosfor. Tyto živiny se ukládají v humínových kyselinách ve formě dostupné pro rostliny a uvolňují se, když je rostliny vyžadují [Canellas, 2002]. Humínové kyseliny přítomné v humusu jsou pro rostliny esenciální z několika důvodů: Umožňují rostlinám extrahovat živiny z půdy, pomáhají rozpustit minerály tak, aby je rostlina mohla přijmout, stimulují kořenový růst a pomáhají rostlině

překonávat stresy [Li, K. and Li, P.Z., 2010]. Vermikompost má schopnost potlačovat nemoci rostlin rozvíjející se v půdě, například hnilobu kořenů [Ayres, 2007 in Adhikary, 2012].

Součástí verмикompostu je tzv. worm casting, což je mikrobiologicky aktivní materiál obsahující tisíce bakterií, enzymů a zbytky rostlinného materiálu, který neprošel trávicím traktem žízá. Mikrobiální aktivita v této části verмикompostu je 10x-20x větší než je v materiálu, který prošel trávicím traktem žízá nebo než v trávicím traktu samotném [Edwards, 1995 in Adhikary, 2012]. Vyskytují se zde *Actinomycetes*, *Azobacter*, *Rhizobium* a *Nitrobacter*. Actinomycety zvyšují biologickou rezistenci rostlin vůči škůdcům a nemocem [Suhane, 2007 in Adhikary, 2012]. Podle Suhane (2007) byl postřik chemických pesticidů aplikovaný na plodiny redukován ze 75 % při aplikaci verмикompostu do půdy.

Další funkcí verмикompostu je větší odolnost vůči hmyzím škůdcům. Munroe tento jev vysvětluje tak, že žízály vyměšují enzym chitinázu, která narušuje chitin, tvořící hmyzí exoskeleton. Vermikompost obsahuje i další enzymy jako amyláza, lipáza, celuláza, které dokáží degradovat organické částice v půdě, čímž se uvolní živiny v dostupné formě pro kořeny rostlin [Chaoui, 2003].

Chemickou analýzou bylo zjištěno, že výsledný verмикompost obsahuje 5x více pro rostliny dostupného dusíku, 7x více dostupného draslíku a 1,5x více dostupného vápníku, než bychom našli ve svrchní vrstvě kvalitní půdy. Nejvíce limitujícím prvkem pro rostliny je fosfor, který se v běžné půdě sice vyskytuje, ale ne ve formě dostupné pro rostliny. Během verмикompostování je však fosfor procházející střevem žízá přeměňován na formu pro rostliny dostupnou [Adhikary, 2012 podle Chaoui, 2003]. Vermikompost obsahuje v průměru 1,5 % - 2,2 % dusíku, 1,8 % - 2,2 % fosforu a 1,0 % - 1,5 % draslíku. Množství organického uhlíku se pohybuje v rozmezí 9,15 % - 17,98 %. Mikronutrienty přítomné ve verмикompostu jsou sodík, vápník, síra, hořčík a železo. Tabulka č. 1 ukazuje porovnání obsahu jednotlivých prvků ve verмикompostu a v půdě. Analyzován byl verмикompost vzniklý z papírové drti a odpadu ze zeleně. Použitý byl druh žízály *Dendrobaena veneta*. Jako půda byla použita kambisol z hloubky 0-15 cm [Williams et al, 2006]. Tabulka č. 2 naopak obsahuje porovnání hodnot mezi verмикompostem a klasickým zahradním kompostem.

Tabulka č. 1: Porovnání obsahu prvků ve vermikompostu a v půdě [Williams et al, 2006].

Parametr	Půda	Vermikompost
Celkový uhlík [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]	31 ± 1	181 ± 3
Celkový dusík [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]	$3,0 \pm 0,3$	$8,7 \pm 0,7$
NO_3^- [$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny]	$<0,1$	$<0,1$
NH_4^+ [$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny]	$<0,1$	$<0,1$
P [$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny]	$<0,1$	$<0,1$
K [$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny]	$0,9 \pm 0,2$	$1,3 \pm 0,1$
Ca [$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny]	$10,5 \pm 3,4$	$26,3 \pm 2,2$
Na [$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny]	$0,05 \pm 0,05$	$0,21 \pm 0,04$

Tabulka č. 2: Porovnání obsahu prvků ve vermikompostu a v zahradním kompostu [Nagavallemma et al, 2004].

Parametr	Vermikompost [%]	Zahradní kompost [%]
Organický uhlík	9,8 – 13,4	12,2
Dusík	0,51 – 1,61	0,8
Fosfor	0,19 – 1,02	0,35
Draslík	0,15 – 0,73	0,48
Vápník	1,18 – 7,61	2,27
Hořčík	0,093 – 0,568	0,57
Sodík	0,058 – 0,158	$<0,01$
Zinek	0,0042 – 0,110	0,0012
Měď	0,0026 – 0,0048	0,0017
Železo	0,2050 – 1,3313	1,1690
Mangan	0,0105 – 0,2038	0,0414

Z hodnot uvedených v tabulkách vyplývá, že vermikompost je množstvím obsažených prvků kvalitnější než zahradní kompost nebo půda samotná.

Suthar et al (2008) prováděl analýzu vermikompostu vzniklého z domácího bioodpadu, kdy byly použity žížaly druhu *Perionyx excavatus*. Celkový dusík se během vermikompostování zvýšil z 10,4 g/kg na 19,26 g/kg, dostupný fosfor byl v nezpracovaném materiálu zastoupen v množství 3,02 g/kg a na konci vermikompostování se jeho obsah zvýšil na 6,13 g/kg a množství výměnného draslíku vzrostlo z 5,19 g/kg na 9,55 g/kg. Celkový poměr uhlíku a dusíku však poklesl z 30,6 na 10,40. Hodnoty byly měřeny před zahájením vermikompostovacího procesu a poté po 150 dnech. Ve studii Othmana et al (2012), byl analyzován vermikompost vzniklý z odpadu z potravin a porovnáván s chemickými hnojivy. Poměr dusíku, fosforu a draslíku ve vermikompostu byl 14 : 2 : 1, naproti tomu chemická NPK hnojiva obsahují poměr těchto prvků v zastoupení 1 : 1 : 1. Vermikompostovat se dají různé organické materiály. Porovnáme-li vermikompost z kalu z textilních výroben, textilních vláken, zbytků ze zemědělství a z kuchyňského bioodpadu, zjistíme, že největší obsah dusíku obsahuje vermikompost ze zbytků textilního materiálu, naopak nejméně celkového dusíku obsahuje vermikompost z kuchyňských zbytků [Garg et al, 2005].

Složení vermikompostu nasvědčuje tomu, že je to výborné hnojivo, které zvyšuje růstovou schopnost rostlin a výnosy plodin, pokud se při pěstování přidá do půdy. Může se přidávat jako půdní substrát do květin pěstovaných doma v květináčích nebo jako hnojení na trávníky. Je to výborný substrát pro skleníkové rostliny. Je dokázáno, že vermikompost zlepšuje klíčivost semínek a rozvoj mladé rostlinky. Všechny přítomné živiny jsou v pro rostliny dostupné formě, tedy rozpustné ve vodě [Adhikary, 2012].

2.6 Worm tea a jeho využití

Při zpracování bioodpadu v domácích vermikompostérech vzniká kromě kvalitního kompostu také tekutina, výluh z vermikompostu, který stéká skrze patra vermikompostéru až na dno sběrné nádoby, odkud se odpouští. Tato tekutina se nazývá worm tea, v překladu žížalí čaj. Worm tea obsahuje velké množství živin prospěšných pro rostlinu a používá se jako kapalné hnojivo [Antonio et al, 2008]. Hlavní výhodou je obsah rostlinných růstových regulátorů jako jsou humínové kyseliny a růstové hormony, které se na ně adsorbují. Složení worm tea závisí na druzích přidávaného bioodpadu. Studie publikovaná v Asian Journal of Plant Science (*Vermicomposting Leachate as Liquid Fertilizer for Maize Forage Production*), uvádí, že worm tea vzniklý vermikompostováním kravského hnoje a kukuřičné slámy obsahuje sodík, amoniak, draslík, hořčík, vápník, chlor, dusičnany, fosforečnany a sírany [García-Gómez et al, 2008]. Dále také

humínové kyseliny a fulvokyseliny. Singh et al (2010) prováděl studii na jahodnících. Ukázalo se, že použitím worm tea jako postřiku na listy se rostlině prokazatelně zvětšila listová plocha o 10.1–18.9 %, zvýšila se hmotnost sušiny jahodníků o 13.9–27.2 % a výtěžek plodů byl větší o 9.8–13.9 %. Tyto parametry byly srovnávány s kontrolou, kde listy byly stříkány pouze vodou. Studie uvedená v Asian Journal of Plant Science také uvádí, že výluh z vermikompostu má nízkou konduktivitu (vodivost) ve srovnání s výluhem z klasického kompostu, to znamená, že worm tea má menší obsah rozpuštěných solí. Naopak výluh z vermikompostu má mnohem vyšší koncentrace dusíku a fosforu, což jen podporuje fakt, že je to výborné hnojivo [Carlos et al, 2008]. Abychom mohli worm tea použít k přihnojení rostlin, ať už postřikáním jejich listů nebo aplikací do půdy, je nutno roztok ředit s vodou v optimálním poměru. Nezředěný roztok má totiž spíše inhibiční, než stimulační účinky a může dojít až k úhynu rostliny. Žížalí čaj se doporučuje ředit 1:9 s vodou. Zředěním se však logicky zredukuje obsah živin v roztoku a proto se v některých studiích objevuje možnost přidavku NPK hnojiv. Antonio et al (2008) uvádí, že výluh z vermikompostu stimuluje rozvoj rostliny, avšak přidavek NPK hnojiva je vyžadován pro maximální růst rostliny. Existuje i možnost použití worm tea jako živného roztoku při hydroponickém pěstování rostlin. Tato možnost bude probrána více v kapitole 3 o Hydroponickém pěstování rostlin.

2.7 Srovnání klasického kompostování a vermikompostování

Jak kompostování, tak vermikompostování jsou metodami aerobního rozkladu biologicky rozložitelných organických látek, které napomáhají zpětnému vrácení organické hmoty a rostlinných živin do přírodního koloběhu [Kalina, 1999]. Přesto jsou obě metody v mnoha faktorech diametrálně odlišné.

2.7.1 Parametry kompostování a vermikompostování

Kompostování je proces aerobní dekompozice organických látek především pomocí mikroorganismů přítomných v substrátu, zatímco vermikompostování zahrnuje jak mikroorganismy, tak žížaly, se kterými jsou v symbióze. Zásadní nevýhoda vermikompostovacího procesu je neschopnost zabít některé patogeny z důvodu nízké teploty. Maximální teplota, kterou žížalí jedinci ještě snášejí, je totiž 35 °C, což je teplota, která rozhodně nepostačuje k usmrcení některých patogenů. Navýšení teploty nad 35 °C vede ke smrti žížal a následnému zastavení vermikompostovacího procesu. Problém se zničením patogenů u klasického kompostování nastat nemůže, jelikož kompostovací proces zahrnuje termofilní fázi rozkladu, ve které teplota dosahuje až 70 °C. Tato fáze trvá 3-4 týdny. Ndegwa a Thompson (2001) navrhuji kombinaci obojího, a to

ve dvou variantách: předkompostování a následné vermikompostování nebo předvermikompostování a následné kompostování [Kaushik et al, 2003 in Ali et al, 2015]. Dalším rozdílem je fakt, že kompost se musí pravidelně přehazovat, aby se materiál promíchal a zhomogenizoval. Suchý materiál se musí promíchávat s vlhkým a jemný s hrubým, aby se zabezpečily ve všech místech kompostu stejné podmínky. Promíchávání ve vermikompostu však zajišťují žížaly, které se tak starají o aeraci celého substrátu a stále udržují dobrou promíchanost vermikompostu [Abbasi et al, 2008]. Obě metody se liší i v pH, které se, především u vermikompostování, musí hlídat z důvodu citlivosti žížal na různá pH podle použitého druhu. Optimální vlhkost ve vermikompostu se pohybuje kolem 70-80 %, maximálně 90 %, na rozdíl od klasického kompostu, kde se vlhkost udržuje na 70 %. U vermikompostování nemají oproti klasickému kompostování povětrnostní podmínky na probíhající proces velký vliv. Odpady je tak možné zpracovávat i během zimního období, kdy je vermikompostovací proces pouze zpomalen [Havelka, 2014]. Srovnání parametrů u vermikompostování a kompostování je přehledně znázorněno v tabulce č. 3.

Tabulka č. 3: Hodnoty parametrů dvou metod kompostování [Slejška, 1999]

		Kompostování	Vermikompostování
Před začátkem kompostování	Optimální C:N	30-35:1	20:1
	Vhodné pH	6-8	min. 5, optimálně 6,5-7,5, max. 9
V průběhu kompostování	Doba kompostování [měsíce]	min. 2-3	léto: 2-3, zima: 3-5
	Správná vlhkost [%]	70 % pórovitosti zaplněno vodou	min. 60, optimálně 70-80, max. 90
	Obvyklá teplota [°C]	50-60, max. 70	min. 5, optimálně 18-25, max. 35
	Obsah kyslíku [% kyslíku v prostředí]	min. 4	15
	Maximální koncentrace CO ₂	17	6
	Maximální výška zakládky [m]	4	0,6
Po skončení kompostování	Maximální C:N	30:1	30:1
	pH	6,0-8,5	6,0-8,5
	Vlhkost [%]	min. 40, max. 65	min. 40, max. 65

Z tabulky č. 3 vyplývá, že na konci obou kompostovacích procesů se hodnoty poměru C:N, pH a vlhkosti sjednotí, přestože v průběhu procesů byly hodnoty parametrů odlišné.

2.8 Systémy vermikompostování

Vermikompostování nabízí mnoho variant, jak biologicky rozložitelný odpad zpracovávat. Nejrozšířenější technologií v dnešní době je vermikompostování na pásových hromadách, které je možné používat jak v zemědělství, tak i v komunální sféře. V současné době se stává čím dál více populárnější vermikompostování kuchyňských zbytků přímo v domácnostech za použití malých domácích vermikompostérů, které jsou na trhu nabízeny v různých konstrukčních variantách a typech. Složitější technologické procesy, jako jsou například různé typy vermireaktorů

(vermireaktor s kontinuálním procesem, dvoumodulový vermireaktor), mají stále více příznivců, jelikož zpracovávají bioodpady v uzavřeném prostředí, zabírají minimální plochu a celý proces je možno efektivněji řídit a automatizovat, což vede k urychlení celého procesu. Hlavním rysem technologie vermikompostování je, že je to proces převzatý z přírody, v jehož průběhu se do zpracovávaného materiálu nemusí přidávat žádné chemické látky. [Havelka, 2014]. Ať už se využívá jakýkoliv z technologických postupů, vždy je nutné zajistit optimální podmínky pro hlavní součást vermikompostování, kterou jsou žížaly. V následujících dvou kapitolách popíšu různé druhy těchto systémů, přičemž se zaměřím na malé vermikompostéry, které se dají využít při komunitním vermikompostování v bytové zástavbě.

2.8.1 Malé vermikompostéry

Kompostování v malých vermikompostérech je maloprodukční vermikompostování, které slouží pouze pro potřeby rodin, kanceláří či tříd ve školách, proto jsou také nazývány jako domácí vermikompostéry. Vermikompostování probíhá v zakryté nádobě, která má obvykle několik pater a je vyráběna nejčastěji z plastu nebo ze dřeva. V případě výroby vermikompostéru ze dřeva by se mělo používat tvrdé dřevo, které nehnije, a v žádném případě by dřevo nemělo být chemicky ošetřeno. Dna jednotlivých pater jsou perforována, aby přebytečná tekutina, tzv. worm tea, mohla stékat do spodní neděrované nádoby, odkud se odčerpává pomocí odpustného kohoutu. Při propadávání žížal do spodní nádoby se umísťuje do zásobníku malé množství natrhaného papíru nebo kokosového vlákna, aby se žížaly mohly dostat zpět do vyšších pater. Dírky v jednotlivých nádobách také umožňují volný pohyb žížal mezi jednotlivými patry a provzdušnění. Nádobu lze umístit na balkón či terasu, přímo na chodbu bytu, do kanceláře, do dílny, do kuchyně nebo do třídy ve škole. Důležité při umísťování je, aby v místnosti byla udržována stálá teplota, ideálně kolem 20 °C. V zimě se tedy nesmí nechat vermikompostér venku bez izolace, je třeba ho obalit například senem nebo ho jinak zabezpečit před chladem. Druhou podmínkou je zajistit správnou vlhkost substrátu, proto by se vermikompostér neměl v létě nechávat na přímém slunci, aby nedocházelo k výparům vody a k přehřívání. Plochu nádoby vybíráme podle množství vyprodukovaného bioodpadu, který chceme vermikompostovat. Udává se, že na 1 kg odpadu týdně je zapotřebí asi 0,2 m² plochy. Po prvotní násadě žížal do vermikompostéru se jejich počet zdvojnásobí přibližně za 3 měsíce. Objem bioodpadu se postupně zpracováváním žížalami zmenšuje na 1/3 až 1/4 svého původního objemu [Hanč and Plíva, 2013].

Domácí vermikompostér se skládá z podstavce, zásobníku s kohoutem na odvod tekutiny, z různého počtu pater a z víka. Zásobník na worm tea je umístěn přímo na podstavci a nad ním už je 1. patro vermikompostéru. První patro je nejnižší nádoba, do které se umísťuje podestýlka.

Přímo na podestýlku se vkládá násada žížal a přidají se kousky bioodpadů menší než 5 cm. Když se žížaly aklimatizují, naplní se první patro plně. Když je první patro naplněno a žížaly zahájí zpracování bioodpadu, umístí se na něj patro druhé, do kterého se začnou vkládat další bioodpady. Na druhé patro se dává víko. Žížaly veškerý bioodpad v prvním patře zpracují zhruba za 2-3 měsíce, a jakmile se tak stane, začnou se přesouvat skrz dírky do druhého patra. V prvním patře zanechají hotový vermikompost. Když je druhé patro naplněno, přidá se patro třetí a současně s jeho přidáním se odebere první patro s hotovým vermikompostem, které se vyprázdní a následně je použito k založení dalšího, opět nejvyššího patra pro vkládání čerstvého bioodpadu. Tento koloběh se neustále opakuje bez nutnosti přidávání nové násady žížal. Vermikompostér může být současně složen z podstavce, čtyř pater a víka [Hanč and Plíva, 2013]. Schématické znázornění struktury domácího vermikompostéru je znázorněno na obrázku v příloze č. 1.

2.8.2 Další technologické systémy

Mezi jednoduché technologické systémy vermikompostování řadíme vermikompostování v pásových hromadách na volné ploše. Nejpoužívanější je postup s tzv. příkrmováním žížal. Suroviny, které chceme vermikompostovat jsou přidávány na hromady. Žížaly se po přidání bioodpadu stěhují do vyšších vrstev hromady, kam byl čerstvý bioodpad přidán a tak dochází ke zpracovávání surovin.

Dalším typem je vermikompostování v ohraničeném prostoru, boxu, nazývané boxové vermikompostování. Ve většině případů je metoda provozována pod přístřeškem, což chrání hromady před povětrnostními vlivy a nezpomaluje se tak proces v chladnějším období. Tato metoda zabírá jen malou plochu, což je její největší výhoda.

Mezi složitější technologické systémy patří tzv. vermireaktory. Existuje mnoho konstrukčních řešení vermireaktorů, přičemž největší plus těchto zařízení je možnost monitorovat hodnoty fyzikálních veličin a tím zpětnovazebně řídit proces vermikompostování v optimálních podmínkách. Je to tedy zpracování biologicky rozložitelných odpadů v uzavřeném prostředí pomocí žížal. Nejčastěji se používají žížaly druhu *Eisenia fetida* (žížala hnojní) nebo *Eisenia andrei* (žížala kalifornská). Hlavními výhodami vermikompostování ve vermireaktorech je malá plocha potřebná k procesu, urychlení celého procesu díky možnosti řídit optimální podmínky ve vermireaktoru a možnosti automatizace celého procesu. Další výhodou je omezení vlivu povětrnostních podmínek a možnost lépe využít vzniklý výluh, který nám na rozdíl od pásových hromad nebo boxů neodteče ven [Hanč and Plíva, 2013].

2.9 Používané druhy žížal

Žížaly patří do kmene kroužkovců (*Annelida*), podkmene opaskovců (*Clitellata*) a třídy máloštětinatců (*Oligochaeta*). Na celém světě žije okolo 5 500 druhů žížal, přičemž v České republice žije okolo 50 druhů a poddruhů žížal. V České republice jsou běžně se vyskytující druhy žížala obecná (*Lumbricus terrestris*), žížala polní (*Aporrectodea caliginosa*), žížala růžová (*Aporrectodea rosea*), žížala červená (*Lumbricus rubellus*), žížala dlouhá (*Aporrectodea longa*) a žížala hnojní (*Eisenia fetida*). Vůbec nejhojnější je žížala polní (*Aporrectodea caliginosa*) [Pommeresche et al, 2010]. Podle jejich chování v přirozeném prostředí můžeme žížaly rozdělit do tří skupin, a to na žížaly anektické (hlubinné), epigeické a endogeické. Ne všechny z výše uvedených druhů jsou vhodné pro vermikompostování, neboť klíčová je efektivnost a rychlost přeměňování organických zbytků. Různé druhy žížal jsou používány pro zpracování různých druhů organického odpadu. Největší využití má *Eisenia fetida* (žížala hnojní), která je nejvhodnějším druhem ke zpracování zbytků zeleniny a ovoce, papírenského odpadu, trávy, listí, odpadů z květin, čistírenského kalu, odpadu z bavlny a obecně kuchyňského a zahradního odpadu [Huang et al, 2014]. *Eisenia andrei* (žížala kalifornská) je naopak vhodná pro zpracování oliv, zbytků kávových zrn [Degefe et al, 2012 in Abbasi et al, 2015], odpadů ze skleníkové zeleniny [Gómez et al, 2010], ale také, stejně jako *Eisenia fetida*, pro zpracování zeleniny a ovoce [Degefe et al, 2012 in Abbasi et al, 2015]. Menší využití má *Lumbricus rubellus*, která zpracovává pouze odpad ze zeleniny a ovoce a kuchyňský bioodpad [Sethuraman and Kavitha, 2013]. *Eudrilus eugenie* je vhodná pro zpracování trávy, kokosových ořechů, banánu anebo zbytků květin [Nweke, 2013]. Žížala hnojní (*Eisenia fetida*) je využívána po celém světě. *Eudrilus eugeniae* je populární v zemích tropických a subtropických oblastí [Kumar, 2005]. Co se týče domácího vermikompostování, nejvhodnější je kalifornský hybrid *Eisenia andrei*, který se velmi rychle množí a dokáže intenzivně přeměňovat bioodpady a organické zbytky ve vermikompost. Především z důvodu rychlého rozmnožování se žížala kalifornská používá v současné době nejčastěji jak při použití domácích vermikompostérů, tak při provozování jiných vermotechnologií. Pozadu ale nezůstává ani žížala hnojní, ze které byla žížala kalifornská vyšlechtěna.

Jak žížala kalifornská tak žížala hnojní se řadí mezi povrchové, tedy epigeické druhy žížal živící se v přírodě čerstvě odumřelou organickou hmotou [Honzová and Poklembová, 2014]. Žížala hnojní i žížala kalifornská mají červenohnědé zabarvení a dorůstají do délky 4-12 cm. Pro život potřebují velké množství organických zbytků a dostatečnou vlhkost, neboť jejich původní prostředí je silně zamokřená opadanka listnatých lesů nebo břehy potoků. Žížaly mají na zádech póry, jejichž prostřednictvím vylučují sliz, který slouží jako mazivo napomáhající pohybu přes kamínky, hrudky a suchá místa. Dýchání je zajištěno celým povrchem těla, takže sliz na povrchu

těla žížaly a dostatečná vlhkost jsou parametry důležité pro výměnu plynů. Proto jsou žížaly tak citlivé na sucho a majitel vermikompostéru tak musí zajišťovat neustálou vlhkost prostředí, ať už přidáním vhodné suroviny nebo zvlhčením vodou. Vlhkost je také důležitá pro aktivitu žížalích jedinců, neboť jejich tělo je ze 70-95 % tvořeno vodou. Žížaly mají velmi tenkou pokožku, a proto jsou velmi citlivé na rychlé změny koncentrace iontů v půdním roztoku [Pommeresche et al, 2010]. Dle Edwardse a Bohlena (1996) je pro žížaly optimální měrná vodivost (množství rozpuštěných solí) v rozmezí do 10 mS/cm.

Žížaly mají vysokou adaptabilitu k různým druhům odpadů, minimální dobu, za kterou jim potrava projde střevem a vysoký reprodukční potenciál. Mají schopnost tolerovat široké rozmezí environmentálních stresů [Kumar, 2005]. V přírodě přečkávají žížaly suché měsíce v klidovém stádium, avšak při dobrých podmínkách jsou schopné být aktivní celý rok, což je případ vermikompostérů, kde jsou podmínky udržovány tak, aby žížalí populaci plně vyhovovaly. Žížalí exkrementy jsou důležitým stavebním materiálem, který přispívá k tvorbě půdních agregátů, které zajišťují nejlepší drobtovitou strukturu půdy. Dobrá půdní struktura potom přispívá k dostatečnému obsahu vody, vzduchu a živin. To platí i pro vermikompost. Žížala sice denně požře velké množství organických zbytků, ale jako potravu využívá jen malou část. Zbytek projde zaživačím traktem a vyloučí se ve formě exkrementů, které obsahují vysoký podíl živin. Výkaly jsou bohaté především na hořčík, uhlík, draslík, fosfor, sodík, vápník a dusík [Pommeresche et al, 2007].

2.9.1 Symbióza žížal s mikroorganismy

Mezi žížalami a mikroorganismy existuje silný mutualistický vztah, což je jistý druh symbiózy, kdy oba zúčastněné organismy mají ze vztahu prospěch. Mikroorganismy žijí jak v trávicím traktu žížal, tak v bezprostřední blízkosti žížal. Do trávicího traktu se mikroorganismy dostávají s potravou, část je jich vždy vyloučena spolu s exkrementy, část zůstává přirozenou součástí trávicího systému žížal [Pommeresche et al, 2007]. Žížaly požírají, rozměňují a tráví organický odpad s pomocí aerobních a anaerobních mikroorganismů přítomných ve střevě žížal. Žížaly zajišťují v substrátu fyzikální a biochemické pochody, přičemž fyzikálními pochody se rozumí provzdušnění substrátu, míchání a rozmělnění. Biochemické pochody už probíhají prostřednictvím mikroorganismů ve střevě žížaly a zahrnují mikrobiální dekompozici. Výsledkem těchto mineralizačních a humifikačních procesů je přeměna nestabilního organického materiálu na relativně stabilní produkt s vysokou mikrobiální aktivitou. Žížaly spolu s potravou přijímají i půdní částičky, které jsou obalovány a mixovány se střevními enzymy a vylučovány ven z těla

žížaly. Již zmíněný mutualistický vztah tedy funguje následujícím způsobem. Mikroorganismy žijící ve střevě žížal rozkládají potravu, kterou žížala přijímá, na drobné částičky, čímž poskytují žížale živiny, které již lépe vstřebá. Žížaly naopak produkcí exkrementů podporují mikrobiální aktivitu v jejím okolí [Edwards, 1988 in Ali et al, 2015]. Exkrementy totiž obsahují pro mikroorganismy mnohem lépe přístupnější živiny, mají optimální vlhkost, obsahují auxiny, cytokininy a gibereliny (hormony stimulující růst), čímž se vzniklý vermikompost stává vysoce kvalitní. Vermikompost je bohatý na fosfor, draslík a dusík. Tento vzrůst je přisuzován přímému působení střevních enzymů žížal na půdní částice a stimulací mikroflóry přítomné ve střevě. Mikroorganismy přítomné ve střevě produkují kyseliny, které mají schopnost rozpouštět jinak nerozpustný draslík. Mikroflóra přítomná v trávicím traktu žížal je také zodpovědná za vyšší obsah dusíku a fosforu [Khwairakpam and Bhargava, 2009]. Běžné jsou mikroorganismy, které pomáhají štěpit lignin a celulózu rostlinných zbytků, ale také nitrifikační a denitrifikační mikroby [Pommeresche et al, 2007]. Fakultativní anaerobní bakterie redukují dusičnany na dusík a oxid dusný. Karsten a Drake (1997) udávají, že v gastrointestinálním traktu žížal se vyskytuje mnohem více anaerobní denitrifikační mikroflóry ve srovnání s okolní půdou. Celý vermikompostovací proces tedy nezajišťují žížalí jedinci sami, jak by se na první pohled zdálo, nýbrž zásadní je jejich mutualistický vztah s mikroorganismy.

2.10 Výhody a nevýhody vermikompostování

Pro uživatele vermikompostéru je velkou výhodou vznik jednak vysoce kvalitního vermikompostu, který je bohatý na minerální látky, enzymy a živiny, a jednak vznik výluhu worm tea, který může být použit na postřik rostlin nebo jako hnojivo do půdy. Celý systém vermikompostování je technicky jednoduchý a zajišťuje zpracování bioodpadu přímo u zdroje. Velkou výhodou je právě to, že jelikož je vermikompostér malý box nenáročný na prostor a zpracováváný materiál nezapáchá, mohou ho využívat lidé žijící v bytech, kteří nemají zahradu.

Vermikompostování je sice provozně nízkonákladový systém, avšak je zde vyšší počáteční investice na nákup vermikompostéru a násady žížal, přičemž nádoba na vermikompostování stojí od 2 500 do 4 500 Kč. Další nevýhodou je absence termofilní fáze při procesu vermikompostování. Vermikompostér si tudíž neporadí s patogenními mikroorganismy, rostlinami napadenými škůdci nebo s pleveli, které nedokáže zničit. Musí se také udržovat optimální podmínky vhodné pro žížaly, tzn. zajišťovat správnou teplotu, vlhkost a dávat do vermikompostéru správné suroviny [Juráš, 2013]

3. Hydroponické pěstování rostlin

3.1 Obecný úvod

Využití worm tea při hydroponickém pěstování okrasných nebo užitkových rostlin představuje možnost, jak uzavřít cyklus živin v rámci domácnosti, resp. komunity. Slovo hydroponie poprvé použil v roce 1929 americký fyziolog W. F. Gericke jako zdokonalený způsob pěstování užitkových rostlin ve vodní kultuře. Hydroponie je tedy způsob pěstování rostlin, při kterém jsou všechny živiny přijímány z roztoku. Zemina, která je jinak nutným předpokladem pěstování se nahrazuje substrátem, který pouze upevňuje kořeny, živiny však neobsahuje [Příbyl 1977].

Živné roztoky pro hydroponické systémy obsahují především anorganické ionty z rozpuštěných solí esenciálních prvků. Tyto esenciální prvky hrají roli především ve fyziologii rostlin a jejich přítomnost zajišťuje kompletní životní cyklus rostlin. Pro rostlinu je esenciálních těchto 17 prvků: uhlík, vodík, kyslík, dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík, síra, železo, měď, zinek, mangan, molybden, bor, chlor a nikl [Salisbury and Ross, 1994 in Trejo-Téllez and Gómez-Merino, 2012]. Uhlík, vodík a kyslík rostliny přijímají ze vzduchu, ostatní esenciální prvky jsou získávány z živného média. Prvky jako je sodík, křemík, vanad, selen, kobalt, hliník nebo jód jsou považovány za prvky pro rostlinu prospěšné. Jejich nepřítomnost může způsobit deformace mladých listů, žloutnutí nebo některá onemocnění [Příbyl 1977]. Nejzákladnější živný roztok by měl obsahovat dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík a síru doplněné některými mikronutrienty [Trejo-Téllez and Gómez-Merino, 2012]. Složení živného roztoku určuje elektrickou vodivost neboli konduktivitu. Konduktivita je míra koncentrace iontově rozpuštěných látek. Elektrická vodivost živného roztoku je dobrý indikátor množství dostupných iontů pro rostlinu. Ionty, které určují elektrickou vodivost, jsou především Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- , OH^- [United States Department of Agriculture, 2001 in Trejo-Téllez and Gómez-Merino, 2012]. Mikronutrienty jako například železo, měď nebo bor nemají na konduktivitu výrazný vliv [Sonneveld and Voogt, 2009 in Trejo-Téllez and Gómez-Merino, 2012]. Hodnota elektrické konduktivity by se v hydroponických roztocích měla pohybovat v rozmezí od 1,5 do 2,5 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ [Samarokoon et al, 2006]. Například plodiny jako salát, mrkev, jahodníky nebo cibule jsou citlivé na hodnotu konduktivity. Hranici tolerance mají na hodnotě 1,4 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ [Jensen et al, 1985 in Trejo-Téllez and Gómez-Merino, 2012].

Optimální hodnota pH u živných roztoků pro správný vývoj rostlin se pohybuje v rozmezí 5,5-6,5. Dostupnost živin při pH nad 7 může být omezena kvůli srážení Fe^{2+} , Mn^{2+} , PO_4^{3-} , Ca^{2+} a

Mg^{2+} do nerozpustných a pro rostlinu nedostupných solí [Resh 2004 in Trejo-Téllez and Gómez-Merino, 2012].

Teplota roztoku ovlivňuje příjem vody a živin rostlinou. Chladný roztok obecně zvyšuje příjem NO_3^- a produkci tenkých bílých kořínků, ale snižuje se příjem vody rostlinou. Teplota roztoku má také efekt na fotosyntetický aparát. Nxave et al. (2009) provedl experiment se sazenicemi špenátu, kdy jednotlivé sazeničky byly pěstovány s použitím závlahové vody s různými teplotami (24, 26, 28 °C). Listová plocha a celková hmotnost mokré i suché biomasy byla největší u rostlin pěstovaných při teplotě 28 °C.

3.2 Složení živného roztoku

Existuje mnoho typů živných roztoků, obvykle však mají všechny stejný základ, kterým je šest esenciálních prvků - N, P, S, K, Ca, Mg. Steiner vytvořil koncept vzájemného iontového poměru - vzájemný poměr aniontů (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-}) a kationtů (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). Změna koncentrace jednoho iontu, například aniontu, musí být doprovázena i změnou koncentrace kationtu, aby tyto ionty byly neustále v rovnováze. Tabulka č. 1 nabízí přehled čtyř živných roztoků s různými koncentracemi jednotlivých živin (prvků) podle různých autorů těchto roztoků.

Tabulka č. 1.: Druhy živných roztoků [Cooper, 1988; Steiner, 1984; Windsor & Schwarz, 1990 in Trejo-Téllez, Gómez-Merino, 2012].

Živina	Hoaglandův a Arnonův roztok (1938)	Hewittův roztok (1966)	Cooperův roztok (1979)	Steinerův roztok (1984)
N [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]	210	168	200-236	168
P [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]	31	41	60	31
K [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]	234	156	300	273
Ca [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]	160	160	170-185	180
Mg [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]	34	36	50	48
S [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]	64	48	68	336
Fe [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]	2,5	2,8	12	2-4
Cu [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]	0,02	0,064	0,1	0,02
Zn [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]	0,05	0,065	0,1	0,11
Mn [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]	0,5	0,54	2,0	0,62
B [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]	0,5	0,54	0,3	0,44
Mo [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]	0,0	0,04	0,2	Chybí

Když porovnáme všechny čtyři živné roztoky, můžeme říci, že Hoaglandův a Arnonův roztok, Hewittův roztok a Steinerův roztok mají velmi podobné koncentrace jednotlivých prvků, ale Cooperův roztok obsahuje vyšší koncentrace všech prvků ve srovnání se ostatními třemi.

3.3 Hypotéza použití worm tea při hydroponickém pěstování rostlin

Jelikož worm tea obsahuje živiny, které jsou ve formě dostupné pro rostliny, existuje myšlenka jeho využití v hydroponickém pěstování rostlin. Mým cílem v této bakalářské práci bylo

zabývat se využitím worm tea vzniklého domácím vermikompostováním bioodpadu. Neexistují však studie zabývající se rozbořením worm tea vzniklého touto cestou. Této problematice bych se proto chtěla věnovat v diplomové práci. Kdyby se dokázala možnost využití worm tea v hydroponickém pěstování, přibyl by další bod na seznamu, proč praktikovat domácí vermikompostování. Lidem by se tento postup ještě více zatraktivnil. Měli by možnost využívat hotový vermikompost při pěstování například květin, worm tea jako hnojivo, případně worm tea jako živný roztok při hydroponickém pěstování, dokáže-li se tato hypotéza.

4. Experimentální část

V experimentální části byl testován vliv různé koncentrace vzorků worm tea na klíčivost semen hořčice bílé (*Sinapis alba*). Jako výchozí metodika byl použit standardní operační postup č. 06.0.46 firmy Dekonta – Ekotoxikologický test na semenech hořčice bílé. Pro jednotlivá ředění byla dále stanovena elektrická vodivost (konduktivita) jako ukazatel dostupných iontů v roztoku worm tea.

4.1 Materiál a metody

4.1.1 Testovací organismus

Jako testovací organismus posloužila semínka hořčice bílé, *Sinapis alba*, patřící do čeledi brukvovitých, *Brassicaceae*. Je to jednoletá, časně jarní rostlina (olejnina), která má tenký vřetenovitý kořen. Hořčice bílá má vzpřímenou, až 150 cm vysokou roztroušeně chlupatou lodyhu s listy jasně zelené barvy. Má oboupohlavné květy uspořádané v květenstvích, plody tvoří šešule.

Rostlina se pěstuje především pro semeno, které obsahuje 24 - 32 % oleje. Ten je využíván v potravinářském, farmaceutickém a kosmetickém průmyslu.

Hořčičné semeno je na brukvovité rostliny poměrně velké, kulovitého tvaru a žluté barvy. Má průměr 1,5 – 4 mm. Po vyklíčení vyrůstá jednoduchý kořen s hypokotylem.

4.1.2 Materiál a pomůcky

Použito bylo toto vybavení: Petriho misky, filtrační papír, pipety, pinzety, kopistky, odměrné baňky, termostat s nastavenou teplotou 20 °C, konduktometr.

4.1.3 Testované látky

Byly použity čtyři různé vzorky worm tea ze společností Ekodomov, z.s. v Praze 6 a KOKOZA o. p. s. v Praze 4, které pocházely ze čtyř různých vermikompostů.

Jako kontrolní médium byla použita destilovaná voda.

4.1.4 Princip testu

Test je navržen pro stanovení toxického vlivu různých druhů vod na klíčivost semen a růst kořene hořčice bílé v počátečních stádiích vývoje rostliny. V mém případě jsem test využila ke zjištění vlivu různých koncentrací worm tea na klíčivost a vývoj kořene hořčice bílé.

Samotný test spočívá v porovnání délky kořínků narostlých po 72 hodinách kultivace semen hořčice bílé (*Sinapis Alba*) v testovaných roztocích (různé koncentrace worm tea) oproti kořínkům kultivovaným v kontrolních roztocích (destilovaná voda). Po změření délky kořínků se spočítá relativní inhibice růstu kořene v testovaném vzorku.

4.1.5 Podmínky a průběh testu

Podmínky testu toxicity na *Sinapis alba* jsou shrnuty v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1: Podmínky testu

Testovací organismus	Hořčice bílá (<i>Sinapis alba</i>)
Barva	Okrově žlutá
Velikost	Střední, 1,5 – 2 mm
Klíčivost semen	Minimálně 90%
Počet semen v jedné Petriho misce	15
Sledovaná odezva	Elongace kořene
Opakování	7
Objem testované koncentrace vzorku	5 mL v 1 Petriho misce
Teplota	20 ± 1 °C
Doba expozice	72 hodin
Světelné podmínky	Bez přístupu světla
Chemikálie	Testovaný roztok, destilovaná voda

Abych mohla s hořčičnými semínky pracovat, nejprve jsem zjišťovala, jestli mají více než 90% klíčivost. Do plastové misky jsem umístila filtrační papír, který jsem ovlhčila vodou a vložila jsem na něj 50 semen. Semena jsem nechala klíčit 48 hodin ve tmě. Tento test klíčivosti jsem provedla s každou novou várkou hořčičného semínka.

4.1.6 Cíl experimentu

Je známo, že worm tea se používá jako kapalné hnojivo, které se přidává do půdy k rostlinám, případně jako postřik na listy. Aby však nedošlo k újmě na rostlině, je třeba ho naředit vodou. Cílem experimentu bylo zjistit, jaké je optimální ředění, při kterém dochází ke stimulaci růstu kořínků hořčice bílé.

4.2 Pracovní postup

Nejprve jsem provedla test na vzorku č. 1, kdy jsem si připravila do kádinek koncentrační řadu 0 %, 10 %, 25 %, 50 %, 75 %, 90 % a 100 %. Použila jsem 50mL kádinky, do kterých jsem dala vždy příslušný objem vzorku a doplnila destilovanou vodou na 50 mL. U všech koncentrací jsem poté změřila konduktivitu. Do 14 Petriho misek jsem umístila dvě vrstvy filtračního papíru a pipetou jsem do každé misky přidala 5 mL testované koncentrace. Destilovaná voda (značeno jako 0% roztok) sloužila jako kontrola. Kopistkou jsem rozbrázdila povrch filtračního papíru, aby se semínka mohla uchytit, a poté jsem vložila 15 semínek do každé Petriho misky. Petriho misky jsem vložila do termostatu, kde byla nastavená teplota na 20 °C. Po 72 hodinách jsem měřila délku kořínků a z naměřených hodnot jsem spočítala průměrnou inhibici. Ukázalo se, že při všech koncentracích dochází k inhibici růstu kořínků oproti kontrole, a proto další pokusy byly prováděny s koncentrační řadou do 10 %.

Další testy byly prováděny se čtyřmi různými vzorky, z nichž jeden byl již použit na koncentrační řadu uvedenou výše. Testy byly prováděny ve dvou paralelách s koncentrační řadou 0 %, 2,5 %, 5 %, 7,5 %, 10 %. Postup byl stejný.

4.3 Výsledky

Z délek kořínků byly spočítány inhibice vždy pro dvě stejné koncentrace daného vzorku, ze kterých byl spočítán průměr. Použit byl vzorec na výpočet relativní inhibice:

$$H_i = \frac{d_{pk} - d_{pi}}{d_{pk}} \cdot 100 \%, \text{ kde } d_{pk} \text{ je průměrná délka kořene v kontrole a } d_{pi} \text{ je průměrná délka kořene}$$

ve variantě s testovaným vzorkem.

Hodnoty průměrných délek kořínků jsou shrnuty v tabulce č. 2 a 3. Jako statistická metoda byl použit t-test pro nezávislé výběry.

Hodnoty inhibic jednotlivých vzorků se směrodatnou odchylkou při různých koncentracích jsou shrnuty v tabulce č. 4 a 5.

Tabulka č. 6 ukazuje hodnoty konduktivity při různém ředění.

Tabulka č. 2: Průměrné hodnoty délky kořínků v cm po 72 hodinách inkubace. Koncentrační řada 10; 25; 50; 75; 90; 100 vol. %.

	Kontrola	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	100 %
Vzorek 1	2,06±1,59	1,84±0,97	1,53±0,9	0,97±0,53*	0,48±0,29*	0,27±0,27*	0,16±0,28*

Tabulka č. 3: Průměrné hodnoty délky kořínků v cm po 72 hodinách inkubace. Koncentrační řada 2,5; 5,0; 7,5; 10 vol. %.

	Kontrola	2,5 %	5 %	7,5 %	10 %
Vzorek 1	2,42±1,77	2,87±1,99	2,74±1,65	2,73±1,52	2,21±1,02
Vzorek 2	0,97±0,79	2,45±1,29 *	1,73±1,26 *	2,19±1,24 *	2,07±1,75 *
Vzorek 3	1,91±1,53	2,46±1,47	2,72±1,49 *	2,31±1,51	1,79±0,95
Vzorek 4	1,45±0,9	1,65±0,09	1,35±0,84	1,23±0,72	1,31±0,84

* Statisticky významný rozdíl oproti kontrole na hladině významnosti $p = 0,05$, vyhodnoceno pomocí programu STATISTICA

Tabulka č. 4: Výsledné hodnoty inhibice v procentech pro koncentrační řadu 10; 25; 50; 75; 90; 100 vol. %.

	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	100 %
Vzorek č. 1	11,15±2,45	26,25±14,55	53,15±4,65	77,2±0,5	87,15±0,75	92,25±1,45

Tabulka č. 5: Výsledné hodnoty inhibice v procentech pro koncentrační řadu 2,5; 5,0; 7,5; 10 vol. %.

	2,5 %	5,0 %	7,5 %	10 %
Vzorek 1	-17,75±4,55	-13,2±3,3	-12,8±9,5	9,07±10,72
Vzorek 2	-152,6±4,1	-77,8±9,8	-113,9±30,4	-95,9±22,7
Vzorek 3	-28,55±15,95	-42±25,9	-20,95±6,25	11,25±0,75
Vzorek 4	-12,67±10,62	7,85±14,05	15,41±8,56	10,6±20,2

Tabulka č. 6: Konduktivita roztoků v mS.

	2,5 %	5,0 %	7,5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	100 %
Vzorek 1	-	-	-	1,6	3,6	6,6	9,6	11,3	12,6
Vzorek 1	0,3	0,8	1,2	1,5	-	-	-	-	-
Vzorek 2	0,3	0,6	0,9	1,2	-	-	-	-	-
Vzorek 3	0,2	0,6	1	1,2	-	-	-	-	-
Vzorek 4	0,3	0,7	0,9	1,3	-	-	-	-	-

4.4 Diskuze

Dostupná literatura uvádí, že optimální ředění worm tea je 1 : 9, avšak z výsledků mého experimentu vyplývá, že některé vzorky jsou při 10% koncentraci již inhibiční. U všech vzorků o koncentraci 2,5 % a konduktivitě 0,3 mS byly zaznamenány stimulační účinky. U ostatních koncentrací se již výsledky lišily. Konduktivita roztoku bude pravděpodobně jednoduše měřitelným indikátorem optimálního naředění pro následné použití. Toto tvrzení bude nutné

podpořit vyhodnocením většího souboru dat. Na výsledcích mého experimentu je jasné vidět, že každý vzorek worm tea je odlišný a pro další experimenty by bylo potřeba získat více vzorků a zjišťovat zastoupení vstupních surovin, jelikož právě složení určuje vlastnosti worm tea.

5. Metodika do diplomové práce

V případě možnosti navázat na toto téma diplomovou prací bych provedla rozborů různých vzorků worm tea vzniklých při vermikompostování domácího bioodpadu v domácích vermikompostérech. Z hlediska možnosti využití tohoto produktu v hydroponickém systému bych sledovala přítomnost substancí vyskytujících se v Hoaglandově živném roztoku, který se v hydroponiích běžně využívá: NH_4^+ , NO_3^- , P, K, Ca, Mg, Na, SO_4^{2-} .

Dále bych zjišťovala přítomnost či nepřítomnost gramnegativní bakterie *Salmonella* sp. a obsah těžkých kovů – As, Cd, Cr, Hg, Pb, který bych porovnávala s nejvyšším přípustným množstvím těchto kovů stanoveným normou ČSN 46 5735 pro výrobu, zkoušení, dodávání a užívání kompostů vyráběných průmyslovým způsobem a používaných jako organické hnojivo. Dále bych pokračovala v experimentech na zjištění optimálního ředění worm tea a zjišťovala závislost inhibice roztoku worm tea na surovinách přidávaných do vermikompostu, ze kterého worm tea vzniká.

6. Průzkum

6.1 Úvod

Jako součást bakalářské práce jsem provedla malý průzkum pomocí krátkého dotazníku. Cílem bylo zjistit, jaké mají lidé povědomí o metodě vermikompostování. Dotazovány byly rodiny žijící v panelových domech na sídlišti v Pardubicích. V dotazníku byly položeny čtyři základní otázky blíže popsane v kap. 6.3.

6.2 Metodika

Informace byly získávány formou anonymního dotazníku vytištěného na papíře, který byl vhazován do schránek šesti panelových domů v Pardubicích. Vyplněné dotazníky lidé vhazovali vždy do jedné schránky rodiny žijící ve stejném panelovém domě, se kterou jsem byla domluvená a která mi poté dotazníky předala. Jelikož lidé na první pohled viděli, jaké tematiky se dotazník týká, je možné, že byl dotazník vyplněn především lidmi, které dané téma zaujalo. Informace by tedy mohly být tímto částečně zkreslené. Jednalo se o orientační průzkum zaměřený na informovanost, případně ochotu zapojit se do komunitního vermikompostování. Kdybychom chtěli získat informace, které by mohly být vztaženy na obyvatele České republiky, musel by být proveden rozsáhlejší výzkum ve více městech. Toto však nebylo náplní mé bakalářské práce.

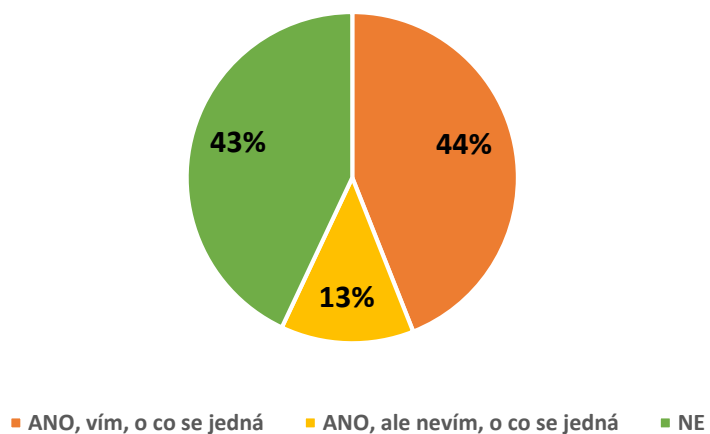
6.3 Výsledky získané dotazováním

Položeny byly tyto otázky:

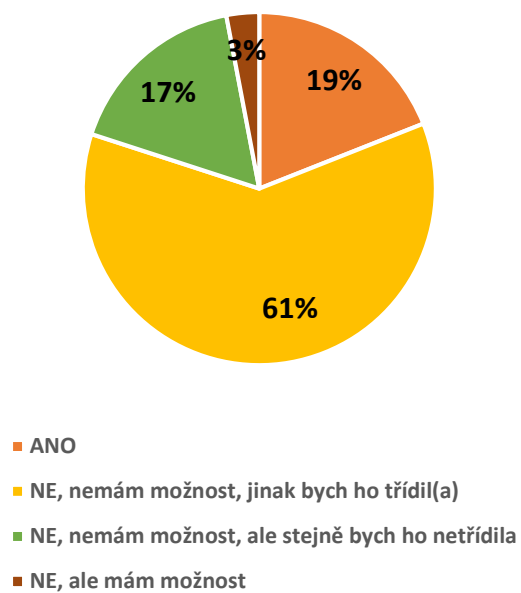
- Slyšeli jste o metodě vermikompostování?
- Třídíte bioodpad?
- Jakou možnost nakládání s bioodpadem preferujete nebo byste preferovali?
- Jak byste reagovali na možnost mít vermikompostér na chodbě v bytovém domě?

Procentuální grafické znázornění odpovědí je zobrazeno na následujících čtyřech grafech.

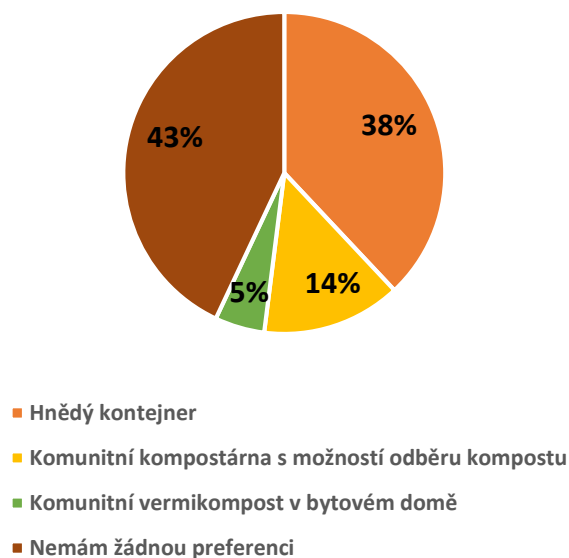
Graf č. 1: Slyšeli jste o metodě vermikompostování?



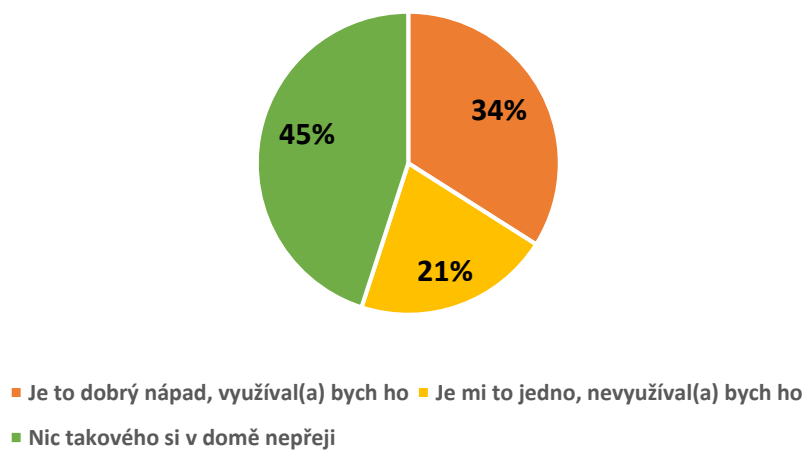
Graf č. 2: Třídíte bioodpad?



Graf č. 3: Jakou možnost nakládání s bioodpadem preferujete?



Graf č. 4: Jak byste reagovali na možnost mít vermikompostér na chodbě v bytovém domě?



6.4 Diskuze

Na první otázce je vidět, že jelikož zhruba polovina respondentů o metodě vermikompostování slyšela a druhá polovina nikoliv, byla by vhodná určitá osvěta v tomto okruhu zpracování odpadů.

Na otázku, zda dotazované osoby třídí bioodpad, odpovědělo pouhých 19 % respondentů tak, že třídí. To je dáno tím, že lidé nemají možnost třídít, jelikož se poblíž jejich domů nenachází kontejner na bioodpad, protože 61 % respondentů odpovědělo, že nemají možnost, jinak by třídili. Jen 20 % lidí potom odpovědělo, že možnost třídít bioodpad nemají, ale že by stejně netřídili, nebo že možnost mají, ale netřídí. Z této otázky tak jasně vyplynulo, že zde není neochota lidí třídít bioodpad, ale například právě v Pardubicích se dá bioodpad vozit pouze do separačních dvorů, kde se třídí kompostovatelný odpad.

Na otázku, jakou možnost nakládání s bioodpadem lidé preferují nebo by preferovali, jsem se ptala lidí, kteří na otázku, jestli třídí bioodpad, odpověděli, že ano, nebo ne, ale třídili by, kdyby měli možnost. 18 respondentů zaškrtnulo, že nemají žádnou preferenci a z toho 4 lidé k odpovědi připsali, že bioodpad z domácnosti vozí na zahradu či chalupu, kde ho využívají na kompost, a jeden člověk vozí bioodpad na příkrm zvířat. Na této otázce je vidět, že lidé by spíše volili hnědý kontejner než vermikompost, kde je přeci jenom nutná určitá péče.

V poslední otázce jsem se ptala, jak by lidé reagovali na možnost mít vermikompostér na chodbě v bytovém domě, a vysvětlila jsem pojem vermikompostování pro lidi, kteří tento pojem neznali. 45 % respondentů zde odpovědělo, že by si vermikompostér v domě nepřáli. K této odpovědi byla možnost připsat, proč by ho nechťeli. Zde se lidé hodně rozepisovali. Většina z dotazovaných by se bála především zápachu a nepořádku v domě. Někteří se obávají přítomnosti hmyzu, případně i hlodavců a tím i zhoršení celkové hygieny domu. Někomu vadila spíše nutnost obsluhy či péče o vermikompost a také to, že jelikož je nutnost udržovat pro vermikompost stálou teplotu, nemohlo by se na chodbách větrat.

34 % dotazovaných by souhlasilo mít vermikompostér na chodbě v bytovém domě a třídít bioodpad, což není tak malé procento vzhledem k počtu dotazovaných. A jelikož hnědé kontejnery nejsou přítomny, bylo by vermikompostování vhodnou alternativou, jak třídít bioodpad, ze kterého by lidé měli navíc přínos v získání vermikompostu a kapalného hnojiva. Druhá věc je však realizace a obavy, že by byl na chodbách nepořádek. Byly by také nutné určité služby na údržbu vermikompostéru, někdo, kdo by odebíral hotový vermikompost a odpouštěl worm tea. Jelikož se ale v dnešní době již lidé v panelových domech tolik neznají, nastal by spíše problém s komunikací a celkovou organizací.

7. Závěr

Domácí vermikompostování bioodpadu vyprodukovaného v domácnostech je perspektivní metoda, která by se časem mohla stát alternativou nakládání s bioodpady vzniklými v domácnostech. Hlavní dva faktory, které by měly lidem tuto metodu zatraktivnit, jsou vzniklý kvalitní vermikompost a výluh z něho, worm tea. Vermikompost se dá použít na pěstování květin, je to výborné hnojivo. Žížalí čaj neboli worm tea se dá zase použít jako postřik listů rostlin nebo tekuté hnojivo, které se může aplikovat přímo do půdy. V práci byla nastíněna možnost použití worm tea jako živného roztoku do hydroponických systému. Neexistují však studie, které by prováděly rozbor worm tea vzniklých z domácích vermikompostérů. V této problematice je proto prostor pro výzkum.

Abych zjistila, jestli je použití worm tea jako živného roztoku vůbec reálné, provedla jsem test toxicity na semenech hořčice bílé (*Sinapis alba*), kde jsem testovala koncentrační řadu 2,5; 5,0; 7,5; a 10,0 vol. % čtyř různých vzorků worm tea. U jednotlivých koncentrací byla měřena i konduktivita. Výsledné hodnoty inhibic ukázaly, že všechny vzorky worm tea mají stimulační účinky při 2,5 vol. % a konduktivitě 0,3 mS. Ostatní hodnoty inhibic se ale u jednotlivých vzorků celkem výrazně liší, proto by bylo potřeba testovat mnohem více vzorků, u kterých bychom znali i složení surovin, které byly vermikompostovány. Právě toto složení bude udávat, jak moc je následně vzorek toxický. Nicméně bylo zjištěno, že některé vzorky jsou při ředění 1:9, tedy 10 vol. % již inhibiční, což je v rozporu s doporučením v různých studiích, že žížalí čaj by se měl před použitím jako postřik ředit ideálně 1:9 s vodou.

Dotazováním bylo zjištěno, že 34 % respondentů by vermikompostér využívalo, kdyby byl na chodbě v bytovém domě. Když by si ale lidé mohli vybrat, jakou možnost nakládání s bioodpadem by zvolili, 43 % dotazovaných by preferovalo hnědý kontejner a pouze 5 % respondentů by zvolilo vermikompostér. Vzorek dotazovaných byl však pouze malý, a tak v jiných městech by mohl být výsledek zcela jiný. Určitá osvěta v této oblasti zpracování bioodpadů by to mohla změnit.

Seznam použité literatury

- Abbasi, S.A., Nayeem-Shah, M., Abbasi, T. (2015): Vermicomposting of phytomass: limitations of the past approaches and the emerging directions. *Journal of Cleaner Production*: 103-114
- Adhikary, S. (2012): Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences*: 905-917
- Antonio, G. M. F, Carlos, G. G. R, Reiner, R. R., Miguel, A. A., Angela, O. L. M, Cruz, M. J. G., Dendooven, L. (2008): Formulation of a liquid fertilizer for sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) using vermicompost leachate. *Bioresource Technology*: 6174-6180.
- Antonio, G., Carlos, G., Reiner, R., Miguel, A. Angela, O., Cruz, M., Dendooven, L. (2008): Formulation of liquid fertilizer for sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) using vermicompost leachate. *Science Direct. Bioresource Technology*: 6174-6180
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Okorokova-Facanha, Facanha, A. R. (2002): Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiology*: 1951-1957.
- Carlos G. G. R., Roberto, G. G., Dendooven, L., Antonio, G. M. F.(2008): Vermicomposting leachate (worm tea) as liquid fertilizer for maize (*Zea mays* L.) forage production. *Asian Journal of Plant Sciences*: 360-367
- Edwards C. A, Clive A., Norman Q. Arancon, N. Q., Sherman, R. L. (2010): *Vermiculture technology: earthworms, organic wastes, and environmental management*. CRC press
- Edwards C. A., Clive A., Bohlen, P. J (1996): *Biology and ecology of earthworms*. Springer Science & Business Media.
- Edwards, C. A., Norman Q. A., Sherman, R. L. (2010): *Vermiculture technology: earthworms, organic wastes, and environmental management*. CRC press
- Fernández-Gómez, Manuel J., Romero, E., Nogales, R.(2010): Feasibility of vermicomposting for vegetable greenhouse waste recycling. *Bioresource technology*: 9654-9660.
- Garg, P., Gupta, A., Satya, S. (2005): Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*: 391–395
- Hanč, A., Plíva, P. (2013): Vermikompostování bioodpadů, Certifikovaná metodika. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i., Česká Zemědělská Univerzita v Praze
- Honzová, M. Poklembová, P. (2014): Pozvěte žížaly domů - Na bioodpad s důvtipem. Ekologický institut Veronica - ZO ČSOP Veronica.
- Huang, K., Wei, Y., Li, F., Fu, X., Chen, X.(2014): Effects of earthworms on physicochemical properties and microbial profiles during vermicomposting of fresh fruit and vegetable wastes. *Bioresource technology*: 45-52.
- Chaoui, H. I., Zibilske, L. M., Ohno, T. (2003): Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry*: 295-302.
- Jarecki, M. K., Chong, C., Voroney, R. P. (2005): Evaluation of compost leachates for plant growth in hydroponic culture. *Journal of plant nutrition* : 651-667.
- Kalina, M. (1999): *Kompostování a péče o půdu*. Grada Publishing, spol. s r.o., Praha

- Khawairakpam, M., Bhargava, R. (2009): Vermitechnology for sewage sludge recycling. *Journal of hazardous materials*: 948-954.
- Kumar, A. (2005): *Verms & vermitechnology*. APH Publishing
- Kumar, S., Sharma, V., Bhoyar, R. V., Bhattacharyya, J. K., Chakrabarti, T. (2008): Effect of heavy metals on earthworm activities during vermicomposting of municipal solid waste. *Water Environment Research* : 154-161.
- Li, K., Li, P., Li, H. (2010): Earthworms helping economy, improving ecology and protecting health. *International Journal of Global Environmental Issues*: 354-365.
- Nagavallemma, K. P., Wani, S. P., Lacroix, S., Padmaja, V. V., Vineela, C., Babu Rao, M., Sahrawat, K. L. (2004): *Vermicomposting: Recycling Wastes into Valuable Organic Fertilizer*. Global Theme on Agroecosystems.
- Ndegwa, P. M., Thompson, S. A., Das, K. C. (2000): Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresource Technology*: 5-12.
- Ndegwa, P. M., Thompson, S. A. (2001): Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource technology*: 107-112.
- Ndegwa, P. M., Thompson, S. A., Das, K. C. (2000): Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresource Technology*: 5-12.
- Ndegwa, P.M., Thompson, S. A. (2000): Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids. *Bioresource technology*: 7-12.
- Neuhauser, E. F., Kaplan, D. L., Malecki, M. R., Hartenstein, R. (1980): Materials supporting weight gain by the earthworm *Eisenia foetida* in waste conversion systems. *Agricultural wastes*: 43-60.
- Nweke, I. A. (2013): Plant nutrient release composition in vermicompost as influenced by *Eudrilus Eugenia* using different organic diets. *Journal of Ecology and the Natural Environment*: 346-351.
- Othman, N. (2012): Vermicomposting of food waste. *International Journal of Integrated Engineering*: 39-48
- Othman, N., J. M. Irwan, J. M, Roslan, M. A. (1991): Vermicomposting of Food Waste. *International Journal of Integrated Engineering*: p. 39-48
- Pommeresche, R., Hansen, S., Løes, A. K. (2010): *Žížaly a jejich význam pro zlepšování kvality půdy*. Bioinstitut Olomouc: ISBN 978-80-87371-02-2
- Priorita. Informační zpravodaj Operačního programu Životního prostředí. No. 3/2011.
- Příbyl, J. (1977): *Hydroponie pro každého*, Státní zemědělské nakladatelství Praha
- Samarakoon, U. C., Weerasinghe, P. A., Weerakkody, W. A. P. (2006): Effect of electrical conductivity [EC] of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) in stationary culture. *Tropical Agricultural Research*: 13-21.
- Sethuraman, T. R., Kavitha K. V. (2013): Vermicomposting of Green Waste Using Earthworm *Lumbricus Rubellus*. *Nature Environment and Pollution Technology*: 371-374.
- Singh, R. , Gupta, R. K, Patil, R. T., Sharma, R. R., Asrey, R., Kumar, A., Jangra, K. K. (2010): Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria*× *ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*: 34-39.

- Singh, R., Gupta, R. K., Patil, R. T., Sharma, R. R., Asrey, L., Kumar, A., Jangra, K. K. (2010): Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae* : 34-39.
- Sinha, R. K., Agarwal, S., Chauhan, K., Valani, D. (2010): The wonders of earthworms & its vermicompost in farm production: Charles Darwin's 'friends of farmers', with potential to replace destructive chemical fertilizers. *Agricultural sciences*: 76-94
- Sinha, R. K., Herat, S., Agarwal, S., Asadi, S., Carretero, E. (2002): Vermiculture and waste management: study of action of earthworms *Elsinia foetida*, *Eudrilus euginae* and *Perionyx excavatus* on biodegradation of some community wastes in India and Australia. *Environmentalist*: 261-268.
- Suthar, S., Singh, S. (2008): Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavatus* and *Perionyx sansibaricus*). *International Journal of Environmental Science & Technology*: 99-106.
- Suthar, S.; Singh, S., (2008): Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavatus* and *Perionyx sansibaricus*). *Int. J. Environ. Sci. Tech.*: 99-106.
- Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y (2000): Fate of nitrogen during composting of chicken litter. *Environmental pollution*: 535-541.
- Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C. (2012): Nutrient solutions for hydroponic systems. *Hydroponics-A Standard Methodology for Plant Biological Researches*, ed. Asao, T. InTech: 1-22.
- Vrbová, M. et al (2003): *Hospodaření s odpady v obcích. EKO-KOM*, Praha
- Williams, A. P., Roberts, P., Avery, L. M., Kilham, K., Jones, D. L. (2006): Earthworms as vectors of *Escherichia coli* O157: H7 in soil and vermicomposts. *FEMS Microbiology Ecology*: 54-64.

Internetové zdroje

Centrum pro hospodaření s odpady.

Ke dni 20. 4. 2016.

Dostupné z:

http://www.ceho.cz/fileadmin/user_upload/CeHO/kaly/Metodicky_navod_BRO.pdf

Časopis BIOM, články a sborníky. Slejška, A. (1999): *Vermikompostování*.

Ke dni 16. 5. 2016.

Dostupné z:

http://stary.biom.cz/clen/as/a_regena99.html

Česká asociace odpadového hospodářství. Havelka, P. (2014): *ČAOH podporuje vermikompostování pomocí kalifornských žížal*.

Ke dni 16. 5. 2016.

Dostupné z:

<http://www.caoh.cz/odborne-clanky-a-aktuality/caoh-podporuje-vermikompostovani-pomoci-kalifornskych-zizal.html>

Bioinstitut.

Ke dni 16. 5. 2016

Dostupné z:

<http://www.bioinstitut.cz/>

BIOM.cz. *Nakládání s biologicky rozložitelnými odpady*

Ke dni: 16. 5. 2016

Dostupné z:

<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-biologicky-rozlozitelnymi-odpady>

Kompostárna STRÁŽNICE (19/2013).

Ke dni 16. 5. 2016.

Dostupné z:

<http://www.vermikompostovani.cz/wp-content/uploads/%C4%8Dlanek-do-KT-Str%C3%A1%C5%BEnice.pdf>

Ministerstvo vnitra České republiky.

Ke dni 14. 4. 2016.

Dostupné z:

http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/SearchResult.aspx?q=229/2014&typeLaw=zakon&what=Cislo-_zakona_smlouvy

Portál veřejné správy.

Ke dni 16. 5. 2016.

Dostupné z:

<http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=0&idBiblio=82766&recShow=0&nr=229%7E2F2014&rpp=15#parCnt>

Příroda-zahrada.cz.

Ke dni 16. 5. 2016

Dostupné z:

<http://priroda-zahrada.cz/clanky/zahrada/kompost-jaky-je-ten-pravy/>

Šmidingerova knihovna Strakonice. Juráš, M. (2013), prezentace.

Ke dni 16. 5. 2016.

Dostupné z:

<http://www.knih-st.cz>

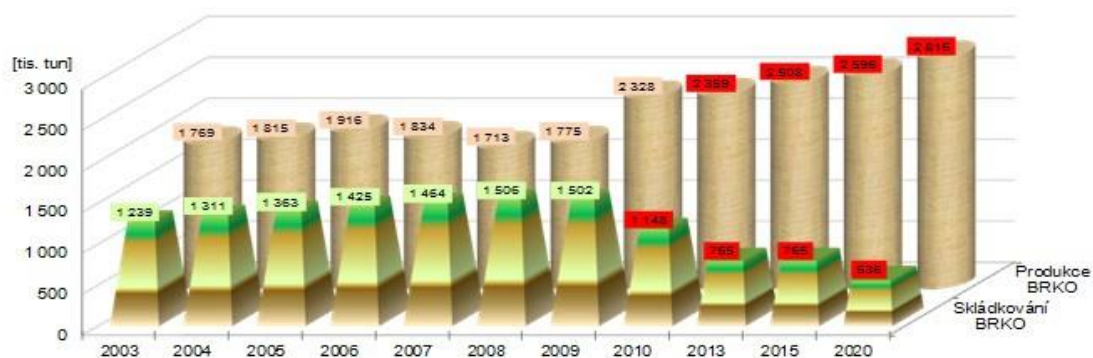
web 1: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-biologicky-rozlozitelnymi-odpady>

web 2: http://www.ceho.cz/fileadmin/user_upload/CeHO/kaly/Metodicky_navod_BRO.pdf

Přílohy

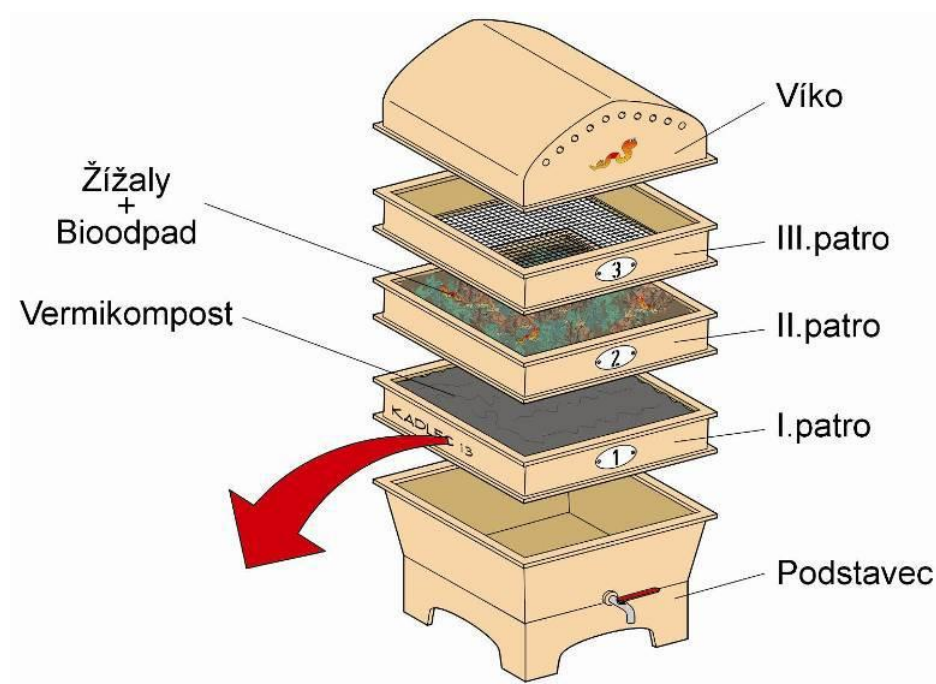
Příloha č. 1

Graf č. 1: Vývoj produkce a ukládání biologicky rozložitelného komunálního odpadu



[Šejvl, 2013: //biom.cz/cz/odborne-clanky/energie-z-odpadu-I]

Příloha č. 2



Obr. I: Schématické znázornění domácího vermikompostéru [Hanč, Plíva, 2013:

<http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/novinky/metodika2013pliva.pdf>]

Příloha č. 3



Obr. II: Dřevěný domácí vermikompostér [<http://www.ekonakup.cz>]



Obr. III: Plastový vermikompostér [<http://www.ekonakup.cz>]

Příloha č. 4



Obr. IV: Vermikompostování v boxech [<http://hgf10.vsb.cz>]



Obr. V: Vermikompostování v pásových hromadách [<http://biom.cz>]



Obr. VI: Dvoumodulový vermireaktor [Hanč, Plíva, 2013:
<http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/novinky/metodika2013pliva.pdf>]